Universidad Zaragoza
1542

Trabajo Fin de Máster

ELECCIÓN DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ACTIVA PARA EL CARRO DE COMBATE LEOPARDO 2E

APLICACIÓN METODOLOGÍA AHP

ANTONIO RAMÓN LLORENS PÉREZ

Director académico: Dra. Marta Torralba Gracia
Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2023

Repositorio de la Universidad de Zaragoza – Zaguan http://zaguan.unizar.es

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer el apoyo recibido para la realización de este trabajo de las personas que amablemente accedieron a actuar como expertos en sus respectivas materias. Su tiempo, dedicación y esfuerzo a la ejecución de este trabajo de fin de máster es digno de reconocimiento y agradecimiento.

En concreto quisiera nombrar al siguiente personal:

- General de Brigada del Cuerpo de Ingenieros Politécnicos Jesús Gómez Pardo, actualmente Subdirector General de Sistemas Terrestres del Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales que colaboró en el criterio de Ingeniería. Hay que añadir que en el tiempo que apoyo el trabajo estaba destinado como Segundo Jefe de la Jefatura de Ingeniería del Mando de Apoyo Logístico del Ejército de Tierra.
- General de Brigada del Cuerpo de Intendencia Germán Martín Cásares, Subdirector General de Contratación de la Dirección General de Asuntos Económicos del Ministerio de Defensa que colaboró en el criterio económico/financiero.
- Coronel de caballería Ángel Esparza López Jefe de la Jefatura de Adiestramiento y Doctrina de Caballería para el criterio de capacidad operativa.

Además, no sería justo dejar fuera de ese reconocimiento al personal que compone sus equipos que prestaron el apoyo para desarrollar los criterios y sub criterios utilizados en el trabajo, todo ello, basado en sus conocimientos y en la información recopilada.

Igualmente, quisiera agradecer muy especialmente a las empresas ELBIT SYSTEMS, RAFAEL, su filial en España PAP-TECNOS y RHEINMETALL, y particularizando en sus representantes en nuestro país, la información solicitada sobre sus sistemas de protección activa. En dos casos, aportando documentación específica para el carro de combate LEOPARDO 2E y en otro aportando una copia de la remitida a la Dirección General de Armamento y Material, para el vehículo VCR 8x8 DRAGÓN, si bien especificando que el sistema sería similar.

Por último, pero no menos importante agradecer al profesorado del Curso Superior de Gestión de Programas, particularizando en la Doctora Marta Torralba Gracia, que han hecho posible el poder alcanzar unos conocimientos que han tenido como punto final la elaboración de este trabajo.

RESUMEN

Existe una necesidad detectada en el Ejército de Tierra español de modernizar sus carros de combate LEOPARDO 2E, con mayor prioridad de aquellos que se encuentran desplegados en la Operación Enhanced Presence. Uno de los aspectos a mejorar es su capacidad de supervivencia o protección.

Una de las tecnologías factibles a instalar en unos vehículos con un determinado tiempo en servicio ("legacy") es el denominado sistema de protección activa (APS en su acrónimo en inglés). Éste tiene dos variantes, la denominada "*hard kill"* la cual tiene como objeto la destrucción de la amenaza mediante una carga o proyectil; la llamada "*soft kill*" actúa alertando o activando efectores sin efecto directo sobre la amenaza.

El objeto de trabajo es llevar a cabo el estudio de apoyo a la decisión para la elección mejor sistema de protección activa (APS) *hard kill* para implementar en una compañía de carros de combate del Ejército de Tierra español. Para ello, se utilizará tomará como herramienta de decisión multicriterio de ayuda a la decisión la metodología AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

Al objeto de llevarlo a cabo se ha realizado un proceso de recopilación de información que ha incluido su solicitud a tres de las empresas que tienen entre sus productos de defensa estos sistemas, alguno de ellos en servicio en otros ejércitos de nuestro entorno. Posteriormente, tras haber contactado con expertos en las áreas operativas, técnicas y económicas en el Ejército, español, se remitió la información obtenida para su estudio, análisis y comparación.

Finalmente, con los datos aportados, aplicados sobre una comparativa de criterios y sub criterios, previamente seleccionados, se procederá, aplicando la metodología AHP, encontrar la mejor solución para apoyar la decisión de escoger el mejor APS para implementar en una compañía de carros español dotado del LEOPARDO 2E.

Tras haber sido aplicado la metodología, la alternativa seleccionada es la del sistema APS TROPHY de la empresa israelí RAFAEL, habiendo quedado por delante de los otros presentados por las empresas ELBIT, sistema IRON FIST y del ADS de RHEINMETALL. Del resultado del estudio se han identificado una serie de fortalezas y debilidades en cada uno de ellos.

El criterio que ha prevalecido para el resultado del mismo ha sido el operativo, frente al técnico o de ingeniería y el económico financiero.

PALABRAS CLAVE

Proceso Analítico Jerarquizado, Sistema de Protección Activa, Carro de Combate, hard kill, soft kill.

ABSTRACT

There is an identified need for the Spanish Army to modernise its LEOPARDO 2E battle tanks, with a higher priority for those deployed in Operation Enhanced Presence. One of the aspects to be improved is their survivability or protection capability.

One of the feasible technologies to be installed in legacy vehicles is the so-called active protection system (APS). This has two variants, the so-called "hard kill" which aims to destroy the threat by means of a charge or projectile; the so-called "soft kill" acts by alerting or activating effectors with no direct effect on the threat.

The purpose of this work is to take a decision support study for the selection of the best "*hard kill*" active protection system (APS) to be implemented in a Spanish Army tank company. To this end, the AHP (Analytic Hierarchy Process) methodology will be used as a multi-criteria decision support tool,

In order to carry it out, a process of information gathering was performed, including a request to three of the companies that have these systems among their defence products, some of them in service in other armies in our environment. Subsequently, after contacting experts in the operational, technical and economic areas in the Spanish Army, the information obtained was sent for study, analysis and comparison.

Finally, with the data provided, applied on a comparative of criteria and sub-criteria, previously selected, we will proceed, applying the AHP methodology, to find the best solution to support the decision to choose the best APS to implement in a Spanish car company equipped with the LEOPARDO 2E.

After having applied the methodology, the selected alternative is the APS TROPHY system of the Israeli company RAFAEL, ahead of the others presented by the companies ELBIT, the IRON FIST system and the ADS of RHEINMETALL. As a result of the study, a series of strengths and weaknesses have been identified in each of them.

The prevailing criterion for the outcome of the project has been operational, as opposed to technical or engineering and economic-financial.

KEYWORDS

Analytic Hierarchy Process, Active Protection System, Main Battle Tank, Hard Kill, Soft Kill.

INDICE DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 1
2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA 3
2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE 3
2.2 METODOLOGÍA 3
2.2.1 Recopilación de información 4
..... 5
2.2.2 Identificación de expertos, elaboración de criterios y estudio. 5
2.2.3 Aplicación del Proceso Jerárquico Analítico (AHP) 6
2.2.4 Análisis de las conclusiones 9
3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO 10
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS CARROS DE COMBATE. LA PROTECCIÓN. (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2022) 10
3.2 LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN ACTIVA 11
3.2.1 Sistemas de protección activa hard kill 14
3.2.2 Sistemas de protección activa soft kill 18
4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADO 20
4.1 Formulación del problema 20
4.2 Evaluación de los criterios 22
4.3 Evaluación de las alternativas. 24
4.4 Jerarquización de las alternativas. 25
4.5 Discusión y análisis de resultados 26
5 CONCLUSIONES 28
6 BIBLIOGRAFÍA 29
ANEXO A. SISTEMA TROPHY 32
ANEXO B. SISTEMA IRON FIST 36
ANEXO C. SISTEMA ADS 40
ANEXO D. CUADRO COMPARATIVO APS 43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cuadro resumen del proceso seguido. Fuente: elaboración propia. 4
Figura 2. Documentación remitida por (a) RAFAEL, (B) ELBIT y (C) RHEINMETALL 5
Figura 3 Documentos remitidos por las empresas. (a) RAFAEL, (b) ELBIT y (c) RHEINMETALL 5
Figura 4. Formulación del problema. Fuente: elaboración propia 7
Figura 5. Principales características de los medios acorazados. Fuente: elaboración propia. .. 10
Figura 6 Capas de protección. Fuente: elaboración propia 11
Figura 7 APS montado en un carro ruso T-80 U ARENA. Fuente: empresa KBM 13
Figura 8 APS AFGHANIT montado en un carro ruso T-14 ARMATA. Fuente: Photo: Vitaly Kuzmin 13
Figura 9 Proceso de detección, calificación e interceptación de un APS “hard Kill”. Fuente: RAFAEL 15
Figura 10 Tiempos de reacción del APS. Fuente Kapinsky & Murphy 16
Figura 11 Protección hemisférica. Fuente: RAFAEL 17
Figura 12 Daños residuales sobre un blindaje. Fuente: RAFAEL 18
Figura 13 Sistema GALIX lanzado desde un carro de combate. Fuente: empresa LACROIX .. 19
Figura 14. Representación gráfica del problema. Fuente: elaboración propia 21
Figura 15 Relación de criterios y sub criterios. Fuente: elaboración propia 22
Figura 16 Evaluación de criterios. Fuente: elaboración propia. 23
Figura 17 Evaluación de sub criterios. Fuente: elaboración propia 24
Figura 18 Evaluación de alternativas. Fuente: elaboración propia 25
Figura 19 Jerarquización de alternativas. Fuente: elaboración propia 26
Figura 20 Elementos del APS TROPHY sobre la torre del carro ABRAMS. Fuente: RAFAEL .. 33
Figura 21 Elementos del APS TROPHY sobre el LEOPARD 2A7A1. Fuente: RAFAEL 34
Figura 22 Sistema propuesto de ELBIT IRON FIST sobre Leopardo 2E. Fuente ELBIT 37
Figura 23 Contramedida o carga explosiva del sistema IRON FIST. Fuente ELBIT 37
Figura 24 Secuencia de interceptación de una amenaza sobre carro de combate. Fuentes RHEINMETALL 41

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Escala de Saaty 8

Tabla 2 Comparativa resumen de APS 44

ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ADS	*Active Defence System* (Sistema de Defensa Activa)
AHP	*Analytic Hierarchy Process* (Proceso Jerarquizado Analítico)
APC	*Armour Personal Carrier* (Transporte de Personal Acorazado)
APFSDS	*Armored Piercing Fin Stabilised Discarding Sabot*
APS	*Active Protection System (*Sistema de Protección Activa*)*
ATGM	*Antitank Guided Missiles* (Misiles Antitanque Guiados)
BMS	*Battle Managment System* (Sistema de Gestión de Batalla)
BTID	Base Tecnológica e Industrial de la Defensa
DGAM	Dirección General de Armamento y Material
DNO	Documento de Necesidad Operativa
EFP	*Explosively Formed Projectile* (Proyectil de formación explosiva)
EO	*Electro-Optical* (Sensor electro óptico)
FMS	*Foreign Military Sales*
IDF	*Israel Defence Force* (Fuerzas de Defensa Israelí)
IED	*Improvised Explosive Device* (Artefacto Explosivo Improvisado)
IFLK	*Iron Fist Light Kinetic*
IFV	*Infantry Fighting Vehicle*
INTA	Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales
JIMALE	Jefatura de Ingeniería del Mando de Apoyo Logístico del Ejército
LSAS	*Local Situational Awarness System* (Sistema de Conciencia Situacional Local)
MADOC	Mando de Adiestramiento y Doctrina
MALE	Mando de Apoyo Logístico del Ejército
MBT	*Main Battle Tank* (Carro de combate)

OCCAR	Organización Conjunta de Cooperación en Materia de Armamento
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
REM	Requisitos de Estado Mayor
SACLOS	*Semi-automatic command to line of sight*
STANAG	*Standardization Agreement (NATO standard)*
SWaP	*Size, Weight and Power (Tamaño, Peso y Potencia –eléctrica-)*
TFM	Trabajo de Fin de Máster
VCI	Vehículo de Combate de Infantería

1 INTRODUCCIÓN

El actual conflicto de Ucrania ha demostrado la vigencia en el campo de batalla de los medios acorazados y mecanizados, tales como carros de combate y los vehículos blindados tanto de combate como de apoyo al mismo. En el caso de los carros de combate ha habido periodos en los que se ha intentado desterrar por su vulnerabilidad y alto coste frente a otros más baratos y simples, tales como misiles contra carros o lanza cohetes portátiles. También se podría ampliar al uso de los drones (MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA, ENERO-2023), tal y como se ha demostrado en dicho conflicto o en los recientemente pasados en Siria o Nagorno Karabaj.

No obstante, si bien es cierto y se ha demostrado que esos sistemas de armas contra carro o los citados drones han hecho estragos en los medios acorazados y mecanizados adversarios, también lo es que gran parte de ello ha sido debido, en primer lugar, porque los procedimientos operativos y las organizaciones tácticas no han sido las adecuadas y, en segundo lugar, porque dichos medios no contaban con unos sistemas de protección adecuados y modernos para poder hacerles frente.

Dos de las lecciones aprendidas por el Ejército Israelí en la segunda guerra del Líbano (2006), las cuales marcaron una guía tanto para el desarrollo de sus sistemas de armas por su importante industria armamentística como para sus procedimientos operativos fueron las siguientes: en primer lugar, que las únicas plataformas que podían actuar en un ambiente saturado de armas contra carro era precisamente el carro de combate. La segunda era la necesidad vital y urgente de incorporar sistemas de protección activa a sus carros y vehículos acorazados y mecanizados.

¿Qué se entiende por un sistema de protección activa (APS en su acrónimo inglés *Active Protection System*)? Si bien, posteriormente, se desarrollará en mayor profundidad, consiste en aquel que su objetivo es evitar el impacto de un proyectil o misil dirigido a un vehículo creando una zona de protección alrededor del mismo, de manera que detecte la amenaza, destruyéndola o desviándola antes de que impacte en él. Estos sistemas se dividen en los llamados "*soft kill*" (medidas no destructivas) y "*hard kill*" (medidas destructivas).

Los sistemas de protección activa "*soft kill*" son aquellos que mediante una serie de sensores y detectores perciben e identifican que el vehículo está siendo apuntado o disparado, provocando que además que la tripulación sea alertada de ello y puede actuar contra ello convenientemente, se active una serie de efectores que pueden consistir en sistemas electro-ópticos de contramedidas cuya misión es confundir al sistema de guiado de la amenaza (misil, munición guiada) desviándolo y alejándolo del objetivo o la activación de sistemas de ocultación creando una cortina de humo que impida al adversario apuntarle mientras procede a realizar maniobras evasivas.

Los sistemas de protección activa "*hard kill*", por el contrario, lo componen una serie de sensores y efectores que tras detectar el proyectil que se dirige al vehículo, realiza un estudio de su velocidad y trayectoria activando una carga que tiene como objetivo interceptarle para bien destruirle físicamente o desviar su trayectoria, evitando el impacto o reduciendo sus efectos en el propio vehículo y su tripulación. Es decir, es un sistema de defensa de corto alcance, cuyo objetivo es destruir físicamente una amenaza tipo proyectil o misil lanzada contra el vehículo.

Actualmente, todos los países de nuestro entorno que están adquiriendo nuevos vehículos acorazados y mecanizados contemplan entre los requisitos que tienen que poseer el que estén equipados con estos sistemas de protección o que cuenten con una preinstalación que permita su futura dotación. Asimismo, existen numerosos programas de modernización de esos tipos de vehículos ya en servicio en otros países para que les sean equipados con tales sistemas.

Desde hace unos años, España participa en la Operación *Enhance Presence* de la OTAN desplegando en Letonia un subgrupo táctico mecanizado dentro de un grupo de batalla multinacional. El objetivo de esta Operación es, de acuerdo a lo señalado en la página web del Estado Mayor de la Defensa (EMAD) (EMAD, 2023), *"… mantener la disuasión frente a cualquier agresión a nuestros Aliados Bálticos, a través de un despliegue de naturaleza defensiva, y responde al compromiso existente en el seno de la Alianza de ayudar a los países aliados*".

Dentro de ese subgrupo táctico español se encuentra una sección de carros de combate equipada con LEOPARDO 2E, si bien está participación podría en cualquier momento aumentarse.

Por otra parte, existe una necesidad de modernización de los carros de combate españoles LEOPARDO 2E[1]. Ambas razones, ha provocado el interés del Ejército de Tierra español de incluir esta capacidad en ellos. De hecho, se ha redactado un Documento de Necesidad Operativa (DNO) de incluir este sistema y, actualmente, existe un Grupo de Trabajo dentro de su seno elaborando sus Requisitos de Estado Mayor (REM).

Para la elaboración del trabajo se ha utilizado bibliografía procedente de documentos oficiales, fuentes abiertas y la remitida por las empresas fabricantes de APS a las cuáles se les solicitó información para la elaboración del trabajo. Adicionalmente, se utilizó el material bibliográfico proporcionado durante el desarrollo del curso relacionado con el Proceso Jerarquizado Analítico.

[1] Sistemas de autoprotección APS en los carros de combate Leopard del Ejército de Tierra-noticia defensa.com - Noticias Defensa España

2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objeto de este trabajo es el de conocer cuál sería el mejor sistema de protección activa para implementar en una compañía española de carros de combate LEOPARDO 2E (13 carros de combate).

El TFM (Trabajo Fin de Máster) se ha limitado al estudio para implementar el sistema de protección activa a sólo un número determinado de carros; concretamente, a trece carros que son los que cuenta en plantilla orgánica actualmente una compañía de carros.

Para ello, en primer lugar, se ha solicitado información a las tres empresas que tienen los Sistemas de Protección Activa (APS) *hard kill* más avanzados en el mercado. Posteriormente, se ha solicitado el apoyo de grupos de expertos en los campos operativos, técnicos y económico-financieros para que estudiasen y analizasen la información recibida. Finalmente, se ha utilizado como herramienta de apoyo a la decisión una de las técnicas de decisión y evaluación multicriterio, concretamente el método denominado Proceso Jerarquizado Analítico (AHP, del acrónimo inglés *Analytic Hierarchy Process*).

Si bien este trabajo se ha realizado a efectos académicos, no se descarta que tanto los documentos obtenidos durante el desarrollo del trabajo como las conclusiones a las que se lleguen a la finalización del mismo pudiesen servir bien para asesorar a la cadena de mando, caso que así se solicitase, complementando otro informes relacionados con dichos sistemas o bien ayudar en el proceso de obtención caso que se considerase llevar a cabo un programa de obtención de este sistema por sí mismo o en el marco de la obtención o modernización de un vehículo acorazado o mecanizado. Incluyendo el concreto de obtención de éste para ser implementado en un número determinado de CC LEOPARDO 2E.

2.2 METODOLOGÍA

La metodología que se ha seguido, de carácter cualitativo y cuantitativo, se puede agrupar en cuatro fases: (1) recopilación de información; (2) identificación de expertos, elaboración de criterios y estudio; (3) aplicación del proceso jerárquico analítico y (4) análisis de conclusiones.

La primera ha sido una recopilación de información procedente tanto de las principales empresas fabricantes de sistemas de protección activa, tras habérsele sido solicitada, como procedente de publicaciones y revistas especializadas en el mundo de la Defensa.

La segunda fase consistió tras en identificar y contactar con expertos en las diferentes áreas, remitirles la información recopilada para su estudio y análisis.

Tras ella, se procedió a transcribir ese estudio a la evaluación de los criterios y sub criterios identificados al proceso, desarrollando el Proceso Jerárquico Analítico.

Finalmente, tras la obtención de resultados se ha llevado a cabo una serie de conclusiones, en las que se destaca las fortalezas y debilidades de los sistemas analizados y se identifica el mejor sistema para ser implementado en una compañía de carros de combate LEOPARDO 2E.

La valoración económica de un sistema varía dependiendo del número del mismo que se adquieran por la existencia, entre otros factores, de unos costes recurrentes y otros que no lo son. Por ello, prácticamente sólo tendrá relevancia el número a la hora de aplicar dicho criterio, siendo irrelevante tanto en el criterio operativo como técnico.

En la Figura 1 se puede observar un cuadro resumen del proceso seguido en el TFM, relacionando las fases del trabajo, los objetivos secundarios, herramientas utilizadas y fuentes de información asociadas.

FASES	RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN	IDENTIFICACIÓN DE EXPERTOS ELABORACIÓN CRITERIOS ESTUDIO	APLICACIÓN PROCESO AHP	ANÁLISIS DE CONCLUSIONES
OBJETIVOS	Obtención de información	Identificación y nombramiento de expertos Remisión de información Estudio de información Identificación de criterios y sub criterios	Formulación problema Evaluación de criterios Evaluación de alternativas Jerarquización de las alternativas	Análisis de conclusiones Propuesta de solución
HERRAMIENTAS	Solicitudes de información a empresas Búsqueda de información Compilación de información	Reuniones e intercambio de correos Análisis de información	Proceso Jerárquico Analítico Programa AHP	Proceso Jerárquico Analítico Programa AHP Análisis de resultados
FUENTES DE INFORMACIÓN	Información proporcionada por las empresas Informes oficiales Fuentes abiertas Bibliografía AHP	Información proporcionada por las empresas Información compilada Bibliografía AHP	Información proporcionada por las empresas Información compilada Bibliografía AHP	Información proporcionada por las empresas Información compilada Bibliografía AHP

Figura 1 Cuadro resumen del proceso seguido. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describe cómo se ha llevado cada una de esas cuatro fases.

2.2.1 Recopilación de información

El objeto de esta fase era obtener información de los sistemas en servicio de los sistemas objeto de estudio, así como de otra que pudiera ser relevante y de interés para la elaboración del trabajo.

La información utilizada para la elaboración de este trabajo ha sido preferentemente procedente de dos fuentes. La primera de ellas y principal ha sido la obtenida de las empresas fabricantes de sistemas de protección activa a las cuales se les ha solicitado la misma, en algún caso complementada con alguna presentación e incluso tras haber asistido a una prueba en vivo de su funcionamiento.

La segunda fuente ha sido procedente tanto de publicaciones como de artículos de revistas especializadas de defensa, así como de algún informe interno oficial del Ejército.

Tal y como se ha citado, fue solicitada información a las tres empresas de nuestro entorno que poseen los sistemas más avanzados y en servicio en los países de nuestro entorno. Estas tres empresas y sistemas son las siguientes:

- El sistema APS TROPHY de la empresa israelí RAFAEL, en servicio en varios ejércitos sobre carros de combate y probada en combate (RAFAEL, 2021) .
- El sistema APS IRON FIST de la empresa israelí ELBIT SYSTEMS, la cual ha sido seleccionada para algunos vehículos de combate de infantería (VCI o IFV en inglés, *Infantry Fighting Vehicle*) (SYSTEMS, 2021).
- El sistema ADS (Active Defence System) de la empresa alemana RHEINMETALL, que si bien no está actualmente en servicio en ningún país en el momento de realizar este trabajo, si se está probando y en servicio en algunos vehículos militares de tipo APC e IFV (RHEINMETALL, 2021).

En la siguiente Figura 2 se puede ver las caratulas de los documentos remitidos por las tres empresas. Hay que reseñar que junto a éstos se remitieron presentaciones de sus productos llevado a cabo en reuniones oficiales entre ET, DGAM y las mismas.

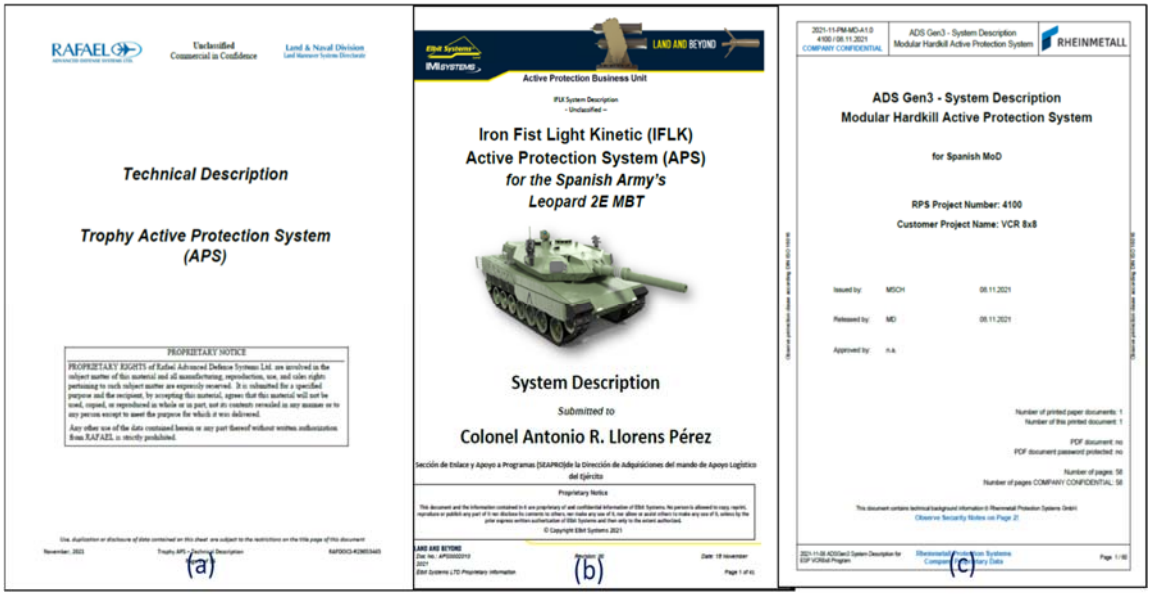


Figura 2. Documentación remitida por (a) RAFAEL, (B) ELBIT y (C) RHEINMETALL

2.2.2 Identificación de expertos, elaboración de criterios y estudio.

Los criterios que se han definido para el estudio han sido tres: capacidad operativa, ingeniería del sistema (entendida como posibilidad o facilidad de instalación e integración en el carro) y el criterio económico/financiero.

Como expertos, se solicitó la colaboración de aquellos que se consideraba que por conocimiento y puesto de trabajo dentro de la estructura tanto del Ejército de Tierra como de la Dirección General de Armamento y Material, mejor podrían contribuir a la calidad del trabajo. De esta manera, los expertos para cada uno de los criterios han sido los que a continuación se relacionan:

- Coronel Jefe de la Jefatura de Adiestramiento y Doctrina de Caballería del Mando de Adiestramiento y Doctrina (MADOC) para el criterio de capacidad operativa en cuyo seno se dirige el Grupo de Trabajo del documento de REM “Sistema de Protección Activa”.
- General, 2º Jefe de la Jefatura de Ingeniería del Mando de Apoyo logístico del Ejército (MALE) para el criterio de Ingeniería, actualmente Subdirector General de Sistemas Terrestres del Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales.
- Coronel, Jefe del Área de Contratación Nacional de la Subdirección General de Adquisiciones de la Dirección General de Adquisiciones de Material (DGAM) para el criterio económico/financiero.

Éstos, a su vez, nombraron a expertos dentro de sus organizaciones para las valoraciones de sus criterios y sub criterios.

2.2.3 Aplicación del Proceso Jerárquico Analítico (AHP)

Con anterioridad a desarrollar cómo se ha llevado a cabo el trabajo se describirá brevemente en qué consiste el **Proceso Jerárquico Analítico** utilizado para la toma de decisiones complejas de **Thomas L. Saaty** (López, 2021).

Este método de ayuda a la decisión creado por dicho matemático americano, pretende la ordenación de unas alternativas posibles a la solución de un problema, utilizando unos criterios y sub criterios, que son valorados, mediante un modelo matemático, por expertos en cada uno de ellos. Es decir, se tiene en consideración la valoración subjetiva de personas con experiencia, y el conocimiento en los criterios y sub criterios seleccionados.

Con la aplicación de esta metodología no sólo se consigue la selección de la mejor alternativa a la solución del problema, sino también el conocimiento de las fortalezas y las debilidades de cada una de ellas.

El proceso consta de cuatro etapas:

(1). Formulación del problema.

(2). Evaluación de los criterios.

(3). Evaluación de las alternativas.

(4). Jerarquización de las alternativas.

Previamente al desarrollo teórico de cada una de ellas, es necesario definir una serie de términos fundamentales en el proceso:

- Problema. Es el objeto que motiva la aplicación del proceso analítico jerarquizado.
- Alternativas. Son las posibles soluciones (objetos, acciones, proyectos…), mutuamente excluyentes, que puede elegir el decisor y que serán objeto de confrontación y comparación.
- Criterios. Son aquellos parámetros o directrices que van a permitir evaluar las alternativas. Estos que deben de encontrarse perfectamente definidos con anterioridad al inicio del proceso tanto para que quede claramente conocido para el experto como para conseguir la pureza y evitar la intoxicación o manipulación durante el mismo. Además, éstos deben de poder medirse y evaluarse, así como ponderarse entre ellos. Los criterios deben ser elegidos por el decisor. Su elección es fundamental para la selección de la alternativa que mejor dé respuesta a la selección del problema.
- Sub criterios. Con las mismas características que los criterios. Son los diferentes componentes en los que puede dividirse un criterio. Será definido por el decisor o propuesto a éste por un experto.
- Decisor. Persona, o grupo de personas responsable de la toma de decisiones, el cual se podrá apoyar en el resultado del proceso AHP para llevarla a cabo.
- Experto. Persona con conocimiento y experiencia en un criterio o sub criterio.
- Matriz de decisión. Es la forma gráfica en formato de tabla donde se relacionan los criterios, sub criterios, sus pesos, las alternativas, reflejando, además, los resultados obtenidos.

A continuación, en los siguientes sub apartados se desarrollará brevemente cada una las etapas del proceso AHP.

2.2.3.1 Formulación del problema

La primera etapa consiste en la representación gráfica, mediante un diagrama de árbol, de la formulación del problema. En dicho diagrama se representa jerárquicamente los componentes del problema, tal y como se muestra en la Figura 3.

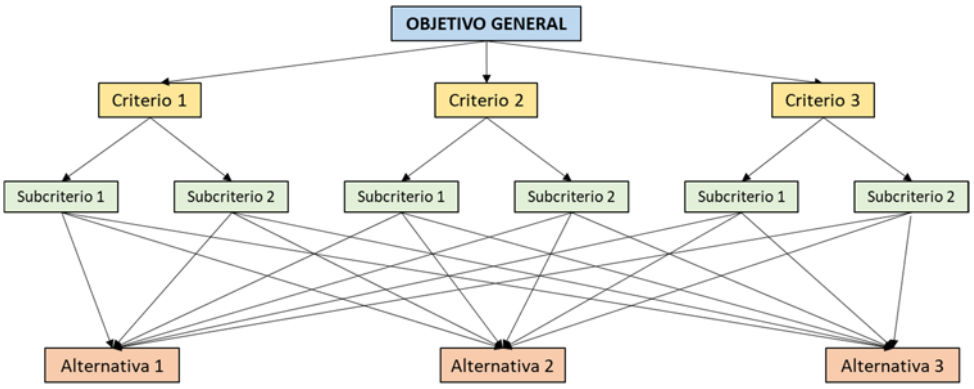


Figura 4. Formulación del problema. Fuente: elaboración propia

Dentro de esta etapa, por tanto, tendrá lugar la definición tanto del objetivo general (parte superior del diagrama), esto es, la identificación del problema a solucionar como las diferentes alternativas o soluciones. Asimismo, habrá que definir de forma precisa los criterios y sub criterios e identificar los expertos en cada uno de ellos. La parte inferior del esquema muestra las alternativas planteadas.

2.2.3.2 Evaluación de los criterios

La segunda etapa se compone a su vez de tres fases:

Durante la **primera fase** se procederá a calcular los pesos de los criterios de valoración. Para ello se procederá a construir una matriz a partir de la comparación de los diferentes criterios dos a dos, con el propósito de estimar la importancia relativa entre cada uno de ellos.

No se entrará en detalle en la formulación matemática del modelo, remitiéndose a la información bibliográfica de este trabajo para su profundización.

Para cuantificar las comparaciones entre los criterios utilizaremos la denominada escala de Saaty. Ésta se basa en comparaciones por pares de dichos criterios, tomando como posibles valores 1, 3, 5, 7 o 9 según la importancia relativa entre A y B, tal y como se aprecia en la Tabla 1, siendo A y B dos criterios cualesquiera y diferentes:

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIO
1	Igual importancia	A y B tienen la misma importancia
3	Importancia moderada	A es ligeramente más importante que B
5	Importancia grande	A es más importante que B
7	Importancia muy grande	A es mucho más importante que B
9	Importancia extrema	A es extremadamente más importante que B

Tabla 1 Escala de Saaty. Fuente: Capítulo 8 del Módulo. Curso Gestión de Programas.

Utilizando, por tanto, la escala de Saaty rellenamos una matriz en forma de tabla comparando dos a dos los tres criterios, al objeto de obtener la ponderación o peso relativo de cada uno de los tres criterios. La realización de estas comparaciones entre criterios será hecha por los expertos designados coordinados por el decisor. Estas comparaciones se realizarán utilizando un programa informático que recoge el modelo matemático incluido en la matriz.

En una **segunda fase** se procederá a calcular la consistencia de los pesos asignados a los criterios. Con ello se controla el grado de consistencia de las puntuaciones que se hace en cada fase del proceso. De esta manera se controla la subjetividad, coherencia y consistencia de los expertos.

El indicador que se utiliza para ello es el llamado razón de inconsistencia (RI). Esta RI indica el grado de incoherencia que se comete al calificar la importancia relativa de los criterios y alternativas de un problema. Se calcula al dividir el índice de consistencia por la consistencia aleatoria.

Siempre que el valor sea superior al 10% significará que la matriz o tabla de comparaciones será inconsistente, debiendo, entonces, averiguar la razón de dicha consistencia, solventarla y repetir el proceso.

Una **tercera fase** será la de calcular los pesos de los sub criterios y la consistencia de los pesos asignados a los mismos. Para ello, se seguirá el mismo proceso indicado en los sub apartados anteriores.

2.2.3.3 Evaluación de las alternativas

En esta etapa, los diferentes expertos valorarán por separado las diferentes alternativas, en cada criterio o sub criterio, comparando las alternativas de dos en dos de acuerdo a la escala de Saaty.

Esta valoración subjetiva, que los expertos tomarán a la hora de comparar las diferentes alternativas para cada uno de los criterios y sub criterios, estará basada en la información, conocimiento y experiencia que tengan sobre cada uno de ellos.

Estas valoraciones se introducirán en las diferentes matrices o tablas incluidas en el programa informático de ayuda a la decisión para cada sub criterio. Una vez introducidas en ella, y de acuerdo al peso para obtenido en la etapa anterior para cada sub criterio, se obtendrá la valoración numérica de cada alternativa para dicho sub criterio.

2.2.3.4 Jerarquización de las alternativas

Finalmente, para poder conocer qué alternativa es la seleccionada para ayudar a la toma de decisión, se volcarán los resultados obtenidos en las etapas anteriores en la matriz de decisión. Es decir, se trasladarán los resultados obtenidos en la etapa 2 (evaluación de los criterios) y los resultados obtenidos en la etapa 3 (evaluación de las alternativas en cada sub criterio) (Romero, 1996).

Para cada alternativa, habrá un resultado final, siendo la que mayor valoración tenga, lógicamente, la seleccionada (Tcol. Ruiz López, 2022).

2.2.4 Análisis de las conclusiones

La jerarquización de alternativas y el resultado de su evaluación permitirá no sólo conocer cuál es el mejor sistema de protección activa para que sea instalada en una compañía de carros de combate LEOPARDO 2E, sino en detalle las bondades, fortalezas y debilidades de todas ellas, según el criterio o sub criterio de valoración seleccionado.

Este análisis se llevará cabo de la simple observación de la matriz de decisión. Si bien, éste sólo se podrá entender perfectamente si se sabe el porqué de la valoración en cada uno de los criterios y sub criterios para cada una de las alternativas.

3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS CARROS DE COMBATE. LA PROTECCIÓN. (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2022)

Las características principales de los vehículos blindados de combate, incluido los carros de combate, han sido y permanecen en la actualidad la protección, la movilidad y la potencia de fuego o letalidad, tal y como se muestra en la Figura 4. Como conflicto de interés en dichas características, la mejora de una de ellas ha afectado directamente a las otras dos. Además, ha estado siempre relacionado directamente con la mejora o incremento de una de esas características o capacidades del potencial enemigo.

Figura 5. Principales características de los medios acorazados. Fuente: elaboración propia.

De esta manera, una mayor letalidad o potencia de fuego en el adversario ha supuesto tener que mejorar la protección propia, fundamentalmente mediante el uso de un blindaje adicional, lo que producía a su vez en un aumento de peso del vehículo. Ello implicaba tener que incrementar la potencia del grupo moto propulsor para no perder movilidad, lo que a su vez suponía un mayor consumo, necesitando más capacidad para almacenar combustible y no restar autonomía. Por supuesto, un aumento de la protección del adversario mediante una mejora del blindaje implicaba tener que mejorar la potencia de fuego del propio, fundamentalmente con armas y munición de mayor calibre; con una relación directamente proporcional también en el peso del vehículo.

Así, se ha producido tanto un progresivo aumento del peso del vehículo como del calibre de las armas, además de la mejora de los sistemas que proporcionan la movilidad del vehículo. En conclusión, actualmente, los vehículos acorazados tienen un mayor peso y calibres en sus armas que en cualquier momento del pasado.

No es difícil suponer que este aumento de peso de estos vehículos tenía una directa relación con las dimensiones de los mismos.

Si se considera el número de sensores y sistemas que se han introducido en estos vehículos para aumentar sus capacidades en el campo de la conciencia situacional, mando y control o de protección, vectrónica, así como de las necesidades adicionales de generación eléctrica para mantenerlo, se puede entender fácilmente que todavía eleva más ese dimensionamiento.

Esta espiral de crecimiento se está intentando reducir mediante el empleo de nuevas tecnologías y sistemas en todas las áreas. En una de ellas se encuentran los sistemas de protección activa.

Actualmente, todas las flotas de nueva generación tanto de carros de combate como vehículos acorazados llevan incorporado de serie bien la instalación de un sistema de protección activa o bien una preinstalación para poder ser implantado en el futuro.

La **protección** es también conocida como la **capacidad de supervivencia**. Consideramos esta característica como la capacidad para, en un primer momento, evitar o reducir la capacidad de ser localizado, identificado y apuntado y, posteriormente, ser alcanzado por fuego enemigo o minimizar las consecuencias en la tripulación y personal embarcado, en caso de serlo.

Una vista gráfica de esta definición transferida a un esquema compuesto diferentes capas, es el mostrado en la Figura 5, donde encontraríamos una serie de técnicas, procedimientos operativos, sistemas y tecnologías para cada una de estas capas de protección

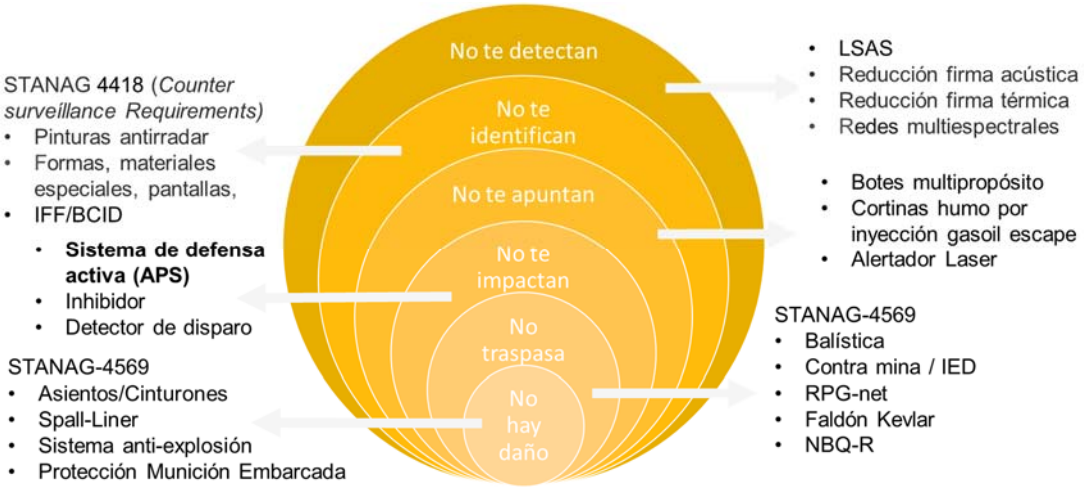


Figura 6 Capas de protección. Fuente: elaboración propia

El objeto del trabajo se centrará en la tecnología o sistemas que evitaran que, habiéndose detectado el vehículo, pueda evitar el impacto de la amenaza, bien porque por medios pasivos se oculta o interfiere el sistema de puntería enemigo o bien, superado éste, intercepta mediante una contramedida que sea alcanzado. Es, por tanto, en esa capa donde actuarán los sistemas de protección activa.

3.2 LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN ACTIVA

Como se ha venido describiendo a lo largo del trabajo, la protección activa es un sistema defensivo que se instala en los vehículos para interceptar, destruir o confundir las municiones enemigas atacantes. Los sistemas de protección activa pueden dividirse en dos categorías, los sistemas "*destructivos*" o "*hard kill"* y los sistemas pasivos o "*contramedidas*" o "*soft kill*" (Feickert., August 30, 2016).

Un sistema destructivo o "*hard kill"* intercepta y/o destruye los misiles o proyectiles enemigos antes de que impacten sobre el objetivo. Los sistemas de contramedidas o "*soft kill"*, confunden y/o desvían el misil enemigo entrante con el uso de municiones de ocultación, inhibidores, señuelos y medidas de reducción de firma.

Un sistema de protección activa normalmente está compuesto por un conjunto de sensores activos o pasivos y una serie de efectores *hard kill* o *soft kill* constituyendo parte de las capas de

protección citadas en el apartado anterior. Todos ellos estarán conectados a través de un sistema electrónico basado en una estructura abierta y conectado a una unidad de control central, cerebro del sistema, que a su vez se integrará en el sistema de mando y control del campo de batalla (BMS, acrónimo del *Battle Managment System*) instalado en el vehículo.

Los ejércitos soviéticos e israelíes fueron los primeros en disponer en sus vehículos, especialmente en sus carros de combate, estos sistemas de protección.

El primer país en disponer un APS operativo para su Ejército fue la Unión Soviética. Este sistema, denominado DROZD[2], se desarrolló entre los años 1977 y 1982, instalándose en unos 250 carros T-55As de su infantería naval (rediseñado T-55ADs) a principio de los ochenta, al objeto de hacer frente a misiles contra carro guiados (ATGM) y granadas propulsadas por cohete (RPG).

Este sistema utilizaba, inicialmente, dos radares de ondas milimétricas colocados a ambos lados de la torre para detectar los disparos. Un filtro en el procesador del radar pretendía garantizar que el sistema respondía solo a los objetivos que volaban a las velocidades típicas de los ATGM's. Estos eran combatidos por uno o más cohetes de corto alcance con cabezas de fragmentación (similar a las granadas de mortero), disparados desde cuatro lanzadores.

El DROZD proporcionaba protección solo en el arco frontal (unos 60°), si bien versiones posteriores, DROZD 1 y DROZD 2, consiguieron aumentarlo, llegando hasta el 120º para la última versión. No obstante, dejaba sin cubrir los laterales y la parte posterior del carro, salvo que se cambiase la orientación del sistema girando la torre. Este sistema tenía graves deficiencias como era que su radar no era capaz de determinar adecuadamente la elevación de la amenaza y entonces los cohetes de auto-defensa causaban daños colaterales, en particular a la infantería que acompañaba a los carros. Se afirma que, el sistema, tuvo un porcentaje de éxito del 80% contra granadas propulsadas por cohete (RPGs) en Afganistán.

Posteriormente, los soviéticos desarrollaron el sistema *soft kill* SHTORA-1, el cual fue presentado en la Feria Internacional de Defensa (IDEX) de Abu Dhabi de 1995 montado en un T-80U. Este sistema entró en servicio en la década de los 90, instalado en los carros T-90.

Este sistema está formado, principalmente, por cuatro componentes: (1) una estación de interfaz electro-óptica, que incluye un perturbador, un modulador y un panel de control, (2) un lanzador de granadas a cada lado de la torre con capacidad de formar una pantalla de humo que es opaca a la luz infrarroja, (3) un sistema alertador laser y (4) el sistema de control.

Este sistema actúa cuando el alertador láser detecta la amenaza. El Jefe de vehículo presiona un botón y automáticamente orienta la torre en la dirección de la amenaza y se activan los lanzadores de granadas, creando una pantalla de humo efectiva en una banda de frecuencia entre 0,4-14 µm. La composición de esta nube sirve tanto para apantallar el vehículo frente a telémetros laser y designadores, como para perturbar el armamento con guiado IR alejándolo del vehículo. Asimismo, el interferidor IR (de Rayos Infrarrojos), consistente en dos luces infrarrojas montadas una a cada lado del cañón, tiene como misión interferir severamente la guía de los misiles antitanque del tipo "*dispara y olvida*", generalmente guiados por señales térmicas.

También en la década de los 90, se desarrolló en la Unión Soviética un sistema APS "*hard-kill*", denominado ARENA. Mediante un radar doppler multifunción, el sistema detecta, rastrea y engancha la amenaza consistente en un RPG o un ATGM en un radio de 50 m a su alrededor en la banda de velocidad especificad. Después de procesar la información, el ordenador genera la orden de disparar un proyectil similar al de una mina *claymore* hacia la trayectoria de

[2] Active Protective Systems: Impregnable Armor or Simply Enhanced Survivability? by Captain Tom J. Meyer. ARMOR Magazine, May-June 1998

aproximación. La munición detona a 1,3-3,9 m de la amenaza, generando una nube de fragmentos, que destruyen o desactivan la amenaza. Este sistema es totalmente automático y funciona todo tiempo. Este sistema está montado principalmente en la flota rusa de carros T-90, T-80U, como se aprecia en la Figura 6, y T-72, además de los VCI BMP-3.

Figura 7 APS montado en un carro ruso T-80 U ARENA. Fuente: empresa KBM

La industria rusa, ha desarrollado últimamente otro sistema APS denominado AFGHANIT. Este APS, fabricado por el Departamento de Diseño Instrumental (KPD), consta de un complejo sistema radioelectrónico que combina radares de barrido electrónico activo, un subsistema informático, y efectores que disparan proyectiles especiales, cuyos fragmentos destruyen los proyectiles entrantes. De acuerdo, a fuentes rusas (Antal, 2020), el AFGHANIT es capaz no sólo de interceptar los ATGM sino también los proyectiles de uranio empobrecido, los APFSDS.

Este APS es montado en el carro ruso T-14 ARMATA y en el moderno VCI ruso T-15. Se puede observar en la Figura 7 los sensores y lanzadores de proyectiles del APS AFGHANIT sobre la torreta del T-14.

Figura 8 APS AFGHANIT montado en un carro ruso T-14 ARMATA. Fuente: Photo: Vitaly Kuzmin

Tal y como se citaba al principio de este apartado, junto con los soviéticos, fueron los israelitas en impulsar los APS para ser implementados en sus vehículos pesados.

Las experiencias de las Fuerzas de Defensa Israelíes durante la Guerra Israel-Líbano de 2006 y en el Conflicto de Gaza de 2014, donde hubo, en ambas, un uso intensivo de RPG y ATGM por parte de las milicias de Hezbolá y palestinas, respectivamente, les ha llevado a promover los APS.

Dos son los principales APS fabricados en Israel[3], el sistema TROPHY de la empresa RAFAEL y el sistema ELBIT, diseñado por la Industria Militar Israelí (IMI), ahora parte de ELBIT SYSTEMS. Ambos, objeto de este trabajo y que se detallan en los ANEXOS A y B a este documento.

La empresa europea que ha conseguido desarrollar un APS que ya se encuentra en servicio en ejércitos europeos es el ADS STRIKESHIELD de RHEINMETALL. Sus orígenes se remontan a 1996 donde se empezó a diseñar su primera generación de APS, el denominado de Sistema Modular Avanzado de Protección y Defensa Activa (AMAP-ADS).

De acuerdo a la información proporcionada por la empresa emplea dos conjuntos independientes de sensores electroópticos que pueden detectar, reconocer y neutralizar amenazas en menos de un milisegundo, interceptando amenazas disparadas desde menos de 10 metros. Otras características del STRIKESHIEKD se describen en el ANEXO C.

Dos son los APS desarrollados por empresas norteamericanas el QUICK KILL de RAYTHEON y el IRON CURTAIN de AERTIS. Ambos sistemas APS *hard kill* fueron probados en los programas de vehículos americanos, pero al final por distintos motivos han sido desechados en favor de otros sistemas (Bernard Kempinski y Christopher Murphy, November 2012,). Especialmente llamativo fue la decisión de no continuar con el desarrollo del IRON CURTAIN en el APC STRYKER[4] o el BRADLEY[5], sustituyéndolo por otros de fabricación israelí[6].

Asimismo, fue especialmente relevante la decisión de montar el APS TROPHY en los carros de combate ABRAMS[7]

3.2.1 Sistemas de protección activa hard kill

Según el documento de Bernard Kempinski y Christopher Murphy un sistema de protección activa "*hard-kill*" detecta, ataca y destruye o neutraliza una amenaza entrante antes de que pueda alcanzar al vehículo protegido, disparando activamente algún tipo de proyectil para interceptar la amenaza.

De manera general, un APS "*hard-kill*" se compone de los siguientes elementos:

- Sensores radar y electro ópticos.
- Lanzador de contramedidas.
- Cargador automático

[3] Vehicle Active Protection Systems from Israel by Tamir Eshel. European Security and Defence: magazine 1/2022.
[4] https://www.defensenews.com/land/2018/08/24/iron-curtain-is-out-as-possible-active-protection-system-for-stryker/
[5] Systems to protect Stryker, Bradley vehicles from missile attacks delayed (defensenews.com)
[6] US Army Completes Successful Iron Fist Tests Series on Bradley Armored Fighting Vehicles - Defense Update: (defense-update.com)
[7] GDLS equipará carros Abrams de EEUU con protección Trophy por 280 millones (infodefensa.com)

- Contramedida, esto es, el proyectil interceptador.
- Centro de control.
- Unidad central electrónica.

Si bien en el apartado anterior, al describir algunos de los APS que han estado o están en servicio, se ha descrito cómo es su funcionamiento normal, aprovecharemos la Figura 8 para detallarlo, diferenciando el modo de interceptar la amenaza que realmente distingue los APS, más allá de sus capacidades.

Figura 9 Proceso de detección, calificación e interceptación de un APS "hard Kill". Fuente: RAFAEL.

Como se puede observar en la Figura 8, el proceso consta de manera resumida en cuatro fases:

(1). El radar y los sensores electro ópticos detectan y clasifican la amenaza entrante. Una vez que el sistema detecta un proyectil, debe seguirlo durante un tiempo para determinar si su trayectoria supone un peligro para el vehículo. Para ello, la mayoría de los sistemas calculan si el proyectil atravesará una zona que considera protegida. El sistema intentará interceptar cualquier proyectil que prevea que va a entrar en esta zona.

(2). El sistema, como se ha señalado, rastreará la amenaza, seguirá su trayectoria y calculará el punto de interceptación, alertando de ello a la tripulación. El punto de lanzamiento quedará localizado. Con los diferentes sensores de la plataforma se confirmará que no es una falsa amenaza y que realmente por el tipo y características es un peligro para ella.

(3). Si la amenaza supone un peligro para la plataforma, se neutraliza automáticamente mediante el lanzamiento de la contramedida en el punto calculado para interceptar la amenaza.

La interceptación se realizará por el impacto de las bolas o fragmentos de la contramedida que explosionará sobre la amenaza (TROPHY) o por la onda explosiva de la contramedida al detonar en la cercanía de la amenaza (IRON FIST y ADS STRIKESHIELD).

(4). La última fase consiste en la neutralización del lanzador enemigo por el carro o por cualquier fuerza amiga o aliada que esté conectada mediante BMS, si bien esta fase no estaría propiamente incluida en ella.

¿Qué elementos de un APS "*hard kill"* son importantes a la hora de seleccionar uno de ellos? A continuación, se describirá brevemente algunos de los elementos relevantes que componen un APS o que deben de considerarse para entender sus capacidades, fortalezas o desventajas. Algunos de éstos han sido utilizados como sub criterios dentro del área operativa o técnica.

Una de las características principales que debe de tener un APS es su capacidad para, en un primer momento, detectar y clasificar la amenaza y, posteriormente, adquirirlo. Ello se conseguirá a través de dos subsistemas o equipos pertenecientes al sistema e instalados la plataforma: el radar y los sensores electro ópticos.

A través de ellos, se detectará y clasificará la amenaza en un espacio muy corto de tiempo. El sistema calculará un punto para interceptarlos alejado del vehículo y, si el proyectil supone una amenaza para el vehículo, activará automáticamente las contramedidas *(soft kill y/o hard kill*) para derrotar la amenaza entrante.

El proceso y el tiempo necesario para la interceptación de la amenaza se pueden apreciar muy claramente en la Figura 9. Esta fue realizada por Bernard Kempinski y Christopher Murphy en un documento de trabajo para la Oficina Presupuestaria del congreso denominado "*Retos Técnicos para el Programa de Vehículos de Combate Terrestre del Ejército norteamericano*".

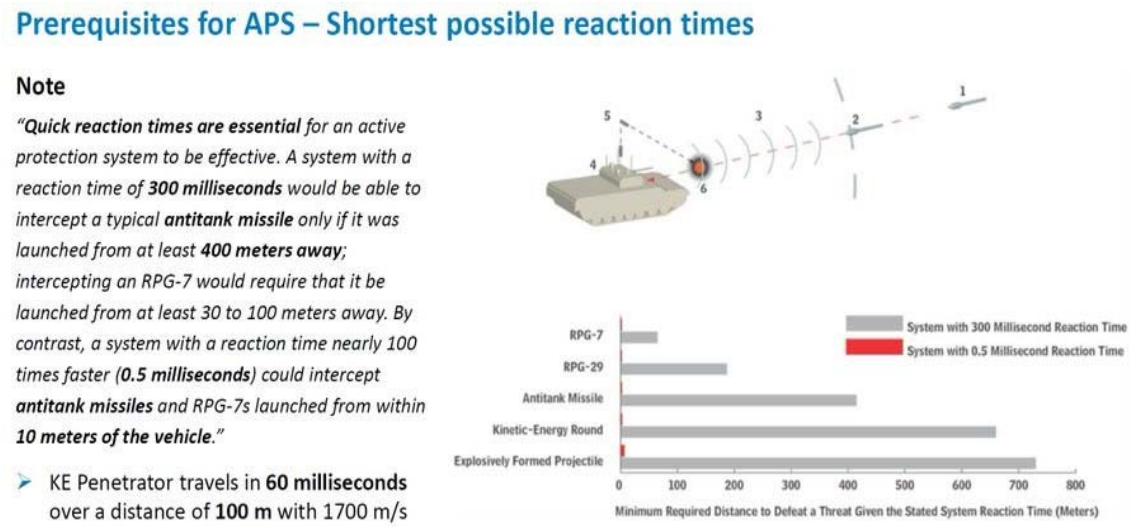


Figura 10 Tiempos de reacción del APS. Fuente Kapinsky & Murphy

De igual importancia, para que el funcionamiento del sistema sea fiable, además de los sensores citados, será su cerebro, su unidad central donde se recoja el software y los algoritmos que posibiliten llevar a cabo las diferentes acciones que lleven a la interceptación de la amenaza.

Otro aspecto muy relevante, que ha cobrado gran relevancia actualmente con el conflicto que se está desarrollando en Ucrania donde se está utilizando muy profusamente los UAV para atacar a los vehículos blindados, es que sea capaz de detectar, calificar y proteger no sólo 360º, sino proporcionar lo que sería una cobertura hemisférica, tal y como recoge la Figura 10. Para ello, los sensores y efectores deberán cubrir también la zona cenital de la plataforma.

Figura 11 Protección hemisférica. Fuente: RAFAEL

La capacidad de un APS para responder simultáneamente a dos o más amenazas es un aspecto importante a tener en cuenta, puesto que un procedimiento utilizado para batir una plataforma, tipo MBT o IFV, dotada o no de dicho sistema, es la reiteración de disparos hacia ella. Si proceden de diferentes lados, cada lanzador podrá hacer frente a cada una. En el caso que procedan de un mismo lado o sector, si bien el seguimiento por los sensores podrá realizarse, quedará limitada la interceptación del segundo de ellos por la velocidad de recarga del sistema.

La rapidez en la recarga de la contramedida en el lanzador y el número de contra medidas que es capaz de almacenar el cargador sin tener que volverlo a alimentar por la tripulación, toda vez que ello supondrá una vulnerabilidad al tener que salir fuera del vehículo, serán elementos clave a estudiar en la elección de un sistema.

Los efectos que la explosión producida en la interceptación puede producir en la tripulación o las tropas propias cercanas a la plataforma equipada con APS. La forma de actuar de la contramedida y la cercanía de la interceptación a la plataforma son factores que determinaran la mayor o menor probabilidad de bajas. En cualquier caso, respecto a la probabilidad de baja de la tripulación será, lógicamente, inferior a que se produciría si se alcanzase su vehículo. La cercanía de fuerzas propias a plataformas equipadas con APS debería ser tenida en cuenta operativamente para valorar la activación automática de aquel o no. No obstante, hay que reseñar que, aunque las empresas fabricantes de APS califiquen en mayor o menor medida la

probabilidad de daños, éstos siempre se producirán por la detonación y explosión de la contramedida sobre la amenaza.

En la Figura 11 se puede apreciar alguno de los daños residuales tras la interceptación de un misil contra carro TOW por un APS TROPHY.

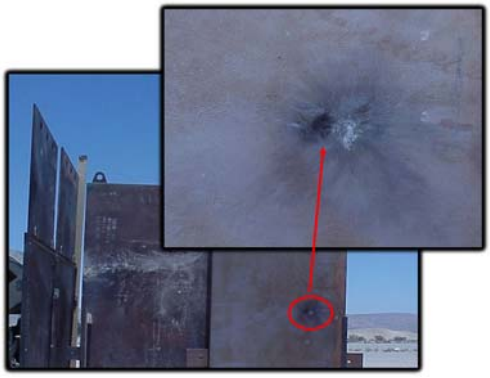


Figura 12 Daños residuales sobre un blindaje. Fuente: RAFAEL

Otro aspecto clave, sobre todo cuando tenga que instalarse en una plataforma "*legacy*", será la facilidad de llevarlo a cabo, adaptándose a aquella, y el consumo eléctrico que necesite para su funcionamiento. Efectivamente, la instalación e integración en un vehículo que no ha sido diseñado inicialmente para ser dotado de esa capacidad necesitará de un detallado estudio, teniendo en consideración el espacio, tanto exterior como en el interior de la plataforma, como el perfil donde se adaptaran los sensores y efectores o el cableado y la potencia eléctrica para sustentarlo. El hecho que un APS haya sido pensado y creado para ser instalado en plataformas ya en servicio será un elemento a tener en cuenta para su elección. En la información proporcionada por la empresa RAFAEL sobre el TROPHY recalca la amplia experiencia en la integración del TROPHY en diversas plataformas, afirmando que, hasta la fecha, se había integrado en más de catorce (14) diferentes, algunas de las cuales estaban en servicio.

Efectivamente, el hecho que más de un Ejército o país tenga en servicio un APS en una plataforma de similares características a la que se quiere equipar, es un hecho evidente de su bondad. A ello hay que añadir, el plus que supone el que dicho APS haya sido probado en combate, lo que subraya el carácter de tecnología madura. Estos aspectos son importantes a la hora de la elección del sistema.

En el ANEXO A, ANEXO B y ANEXO C se detalla con mayor profundidad los APS objeto de estudio en este trabajo, pudiendo comparar los mismos en algunas de sus características en la tabla incluida en el ANEXO D.

3.2.2 Sistemas de protección activa soft kill

Estos son sistemas electro-ópticos de contramedidas cuya misión es confundir al sistema de guiado de la amenaza (misil, munición guiada) desviándolo y alejándolo del objetivo. Son dos los principales tipos de sistemas "*soft-kill*", a los cuales normalmente va asociado un sistema de ocultación.

El primero de ellos es el **Sistema de emisión / iluminador Infrarrojo (IR)**. Tiene balizas instaladas en el vehículo que "secuestran" el rastreador de IR de los puestos de teleguiado del misil (sistemas de control y emisión), de manera que al misil se envían señales falsas y hace que pierda el objetivo.

Este sistema se utiliza para contrarrestar misiles SACLOS (Comando Semi-activo para Campo de Visión).

Sistema alertador láser, el cual normalmente comprende dispositivos de alerta láser, un sistema de control y un mecanismo de apantallamiento por humo para ocultamiento del objetivo. El sistema se activa tan pronto como los dispositivos de alerta láser detectan una amenaza, activando automáticamente el dispositivo de apantallamiento por humo. Este consiste en un lanzador con capacidad para un número determinado de granadas de humo, si bien en éste puede utilizarse para otro tipo como fragmentarias o multi próposito. La granada se lanza en la dirección de la amenaza, detectada por los sensores del sistema, generándose una pantalla de humo, apantallando y oscureciendo el sistema de guiado del misil de manera que éste se desvíe del objetivo.

Los sistemas de ocultación en el mercado adecuan la capacidad de respuesta automática en función de la amenaza (incorpora reglas de enfrentamiento), así como ofrecen recomendaciones de maniobra al conductor, siempre y cuando esté integrado con los sensores meteorológicos y con el sistema alertador láser del vehículo.

Dos de los sistemas de ocultación más avanzados en nuestro entorno son el Sistema GALIX de la empresa LACROIX-FALKEN (ver Figura 12) y el Sistema de Ocultación Rápido (ROSY, acrónimo de *Rapid Obscuring System*), perteneciente a la empresa RHEINMETALL.

Figura 13 Sistema GALIX lanzado desde un carro de combate. Fuente: empresa LACROIX

Actualmente, el carro de combate LEOPARDO 2E está equipado con lanzadores fumígenos WEGMANN, ya algo anticuados y de accionamiento manual. Asimismo, este carro no cuenta con sistema alertador láser por lo que, para poder aumentar su capacidad de supervivencia o protección, se debería de incluir éste y sustituir el sistema de ocultación por uno de los mencionados o por otro de similares características.

4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADO

En este apartado se describe cómo se ha llevado a cabo el trabajo en cada una de esas etapas y los resultados de las mismas (López, 2021).

4.1 Formulación del problema

Como se ha citado en la introducción de este trabajo, el objetivo general del mismo es el de, ante la necesidad de dotar un sistema de protección activa (APS) *hard kill* a una compañía de carros de combate LEOPARDO 2E de trece (13) carros, ayudar en la toma de decisión del mejor sistema.

Para llevar a cabo este trabajo, las alternativas que he considerado comparar son los tres sistemas de protección activa occidentales más conocidos y valorados, a saber:

- El TROPHY de la empresa israelí RAFAEL. (Navarro García, 2023)
- El IRON FIST de la empresa israelí ELBIT SYSTEMS.
- El ADS (Active Defence System) de la empresa alemana RHEINMETALL.

Al objeto de utilizar documentación actualizada y oficial de las empresas fabricantes, se remitió un correo a sus representantes en España, requiriendo la información necesaria y explicando el motivo de la misma.

De todos los posibles criterios que se podía utilizar para ayudar en la toma de decisión, se ha seleccionado y definido los siguientes:

Capacidad operativa: el APS que posea unas mejores características técnicas y operativas para ser instalado en CC Leopardo 2E teniendo en consideración el tiempo de reacción, eficacia en los diferentes tipos de munición sobre los que puede actuar, cobertura, daños colaterales a personal propio, instrucción/adiestramiento y simulación, entre otros. Además, se considerará importante el ser un sistema que ha sido probado en combate.

Posibilidad/Facilidad de instalación e integración en el carro (ingeniería del sistema): al ser un APS que debe ser integrado en un "*legacy*" debe de considerarse desde un punto de visto técnico que sea factible instalarse en el CC Leopardo 2E teniendo en cuenta su peso, el consumo eléctrico necesario, facilidad de instalación y la compatibilidad de uso con otros sistemas electrónicos y electrópticos.

Económico/financiero: en este criterio se valorará el coste económico de la instalación del APS en una compañía de carros, la posibilidad de ser adquirido a través de una agencia de armamento que abarate el montante de la operación y que el tecnólogo o fabricante pueda alcanzar un acuerdo con la Base Tecnológica e Industrial de Defensa nacional para que una parte importante del sistema pueda fabricarse en España.

Dentro de cada criterio, se seleccionaron y definieron una serie de **sub criterios**.

Dentro del de **capacidad operativa**, se han identificado los siguientes sub criterios:

- **Eficacia contra municiones**. Entendiendo como tal la capacidad para interceptar y destruir proyectiles y misiles anti tanque dirigidos contra él. Tendrá especial valor el tanto por cien (%) de eficacia ante munición APFSDS.
- **Capacidad de respuesta** Capacidad de contrarrestar dos (2) o más amenazas simultáneamente al mismo punto. Asimismo, se tendrá en consideración, la capacidad de tiempo de reacción y recargado.
- **Daños colaterales sobre fuerzas propias.** Se considerará el % de letalidad sobre fuerzas propias teniendo en cuenta que la destrucción del proyectil tendrá lugar en las inmediaciones del carro.

- **En servicio.** En este sub criterio se valora que sea un sistema plenamente eficaz, en servicio o avanzado estado de desarrollo. Además, se valorará que el sistema se encuentra en servicio en algún carro de combate (MBT) de nuestro entorno y ha sido probado en combate.

En el criterio de **ingeniería de sistema**, se han identificado los siguientes sub criterios:

- **Instalación**. Facilidad en la instalación de los componentes del APS en el carro y su compatibilidad con los sistemas electrónicos y electrópticos existentes en él. Además, cabría valorar la posibilidad de ser modular y adaptarse a fácilmente a cualquier otro carro de la flota.
- **Interferencia.** Posibilidad de interferir en otros equipos electrópticos y electrónicos del carro disminuyendo sus capacidades.
- **Consumo eléctrico**. Capacidad de proporcionar energía eléctrica al APS sin menoscabar el funcionamiento de los actuales sistemas del carro; valorando el coste, en cualquier aspecto, de las modificaciones o mejoras que habría que realizarse en el sistema de generación eléctrica del carro.

En el **económico/financiero**, se ha identificado los siguientes **sub criterios**:

- **Coste económico**. Coste tanto del APS y como de su integración en una compañía de carros, valorando el que sea más económico (el de menor valor).
- **Participación BTID nacional**. En este apartado se valorará tanto el grado de participación de la industria nacional en su fabricación como la posible transferencia de tecnología a ésta.
- **Financiación**. Obtención a través de agencias tipo OCCAR o FMS, incluyendo cualquier otro procedimiento o fórmula que permita abaratar costes, como por ejemplo un acuerdo multinacional.

La representación gráfica del problema, una vez definido los diferentes elementos que lo componen es la mostrada en la siguiente Figura 13.

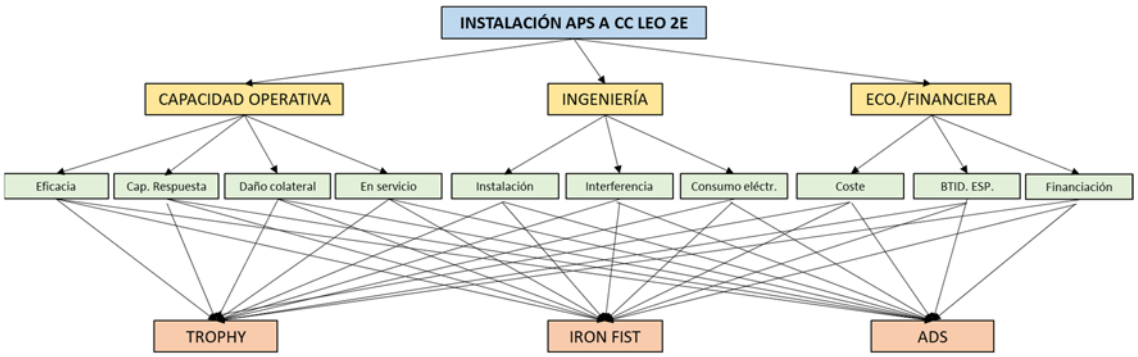


Figura 14. Representación gráfica del problema. Fuente: elaboración propia

Identificados los criterios y sub criterios, se procedió incluir en el programa informático de la herramienta de Ayuda a la Decisión del método AHP los diferentes criterios, sub criterios y alternativas, pudiendo contemplarse una captura de la carga en la imagen mostrada a continuación en la Figura 14.

En la misma se puede ver las cómo se encuentra los comandos para incluir o eliminar las alternativas, incluir o eliminar los criterios e incluir o eliminar los sub criterios de cada uno de los criterios. Por tanto, en dicha Figura 14 se puede ver el esquema que compone el problema y que quedó representado en la Figura 13.

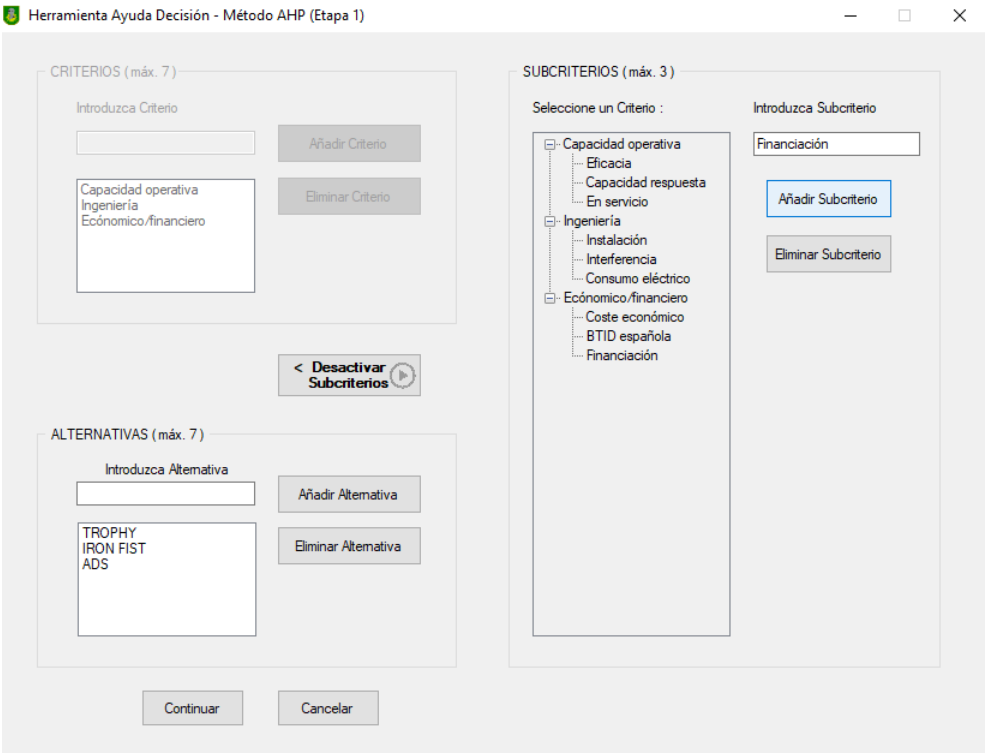


Figura 15 Relación de criterios y sub criterios. Fuente: elaboración propia

4.2 Evaluación de los criterios

Con anterioridad a seguir desarrollando el proceso se señalan algunos de los pasos seguidos para la elaboración del trabajo.

Los criterios y sub criterios fueron definidos en base a la importancia que se consideró que debería de tenerse en cuenta a la hora de la elección de un sistema de protección activa para el carro de combate LEOPARDO 2E. No obstante, con ayuda del grupo de expertos nombrados y citados en el apartado 2.2.2 se verificó y valido su idoneidad para ser incluidos.

A continuación, se remitió un correo dirigido a los expertos en el cual, además de la petición de colaboración en el trabajo y la explicación del objeto buscado, se le informó de los siguientes aspectos:

- Identificación de los criterios y sub criterios seleccionados, así como su definición. De igual manera, se planteó la posibilidad de modificación de los mismos, caso que por su conocimiento así se considerase[8].
- Breve descripción de la metodología AHP así como procedimiento e instrucciones para completar las diferentes matrices o tablas a desarrollar en las diferentes etapas del

[8] Los diferentes expertos consideraron como correctos los criterios y sub criterios planteados por lo que no se modificaron los inicialmente planteados.

proceso. Además, se remitió documento Excel con las tablas para ser completadas (Elvira, 2021).

De forma paralela, se solicitó información a las empresas fabricantes de las alternativas o productos seleccionados. Hay que reseñar que una de las empresas se demoró considerablemente en la entrega de la información requerida, remitiendo finalmente documentación del sistema. Esta documentación, aunque no estaba específicamente destinada al montaje en el CC LEOPARDO 2, sino para un VCR 8x8 se concretó que no vararía para aquel. Además, se pudo presenciar en vivo el funcionamiento del sistema en una demostración que tuvo lugar en el desierto del Neguev (Israel).

Toda la información recibida tanto de las empresas fabricantes como de publicaciones de defensa, foros y presentaciones fue compilada y en parte remitida, posteriormente, a los expertos al objeto que pudiesen llevar a cabo tanto el cálculo de los criterios y sub criterios así como la evaluación de las alternativas.

Tras haber remitido la documentación citada, ésta fue completada y devuelta por los expertos designados, dando los resultados que se expresarán para cada una de las etapas y fases que se desarrollan a continuación.

Calculo de los pesos de los criterios de valoración

Para el cálculo de los pesos de los criterios de valoración y obtener su ponderación se utilizó, tal y como se ha señalado anteriormente, la escala de Saaty.

Con las valoraciones de los criterios propuestos por los expertos, se acordó que el criterio operativo debía prevalecer sobre los otros criterios debido a que en éste se medía la eficacia del sistema (cuyo objeto es aumentar la probabilidad de supervivencia de la tripulación), justificando así el coste económico y su implementación en el CC. De igual manera, se considera más más importante el de ingeniería sobre el económico porque redunda en el de eficacia del sistema y su bondad.

Las valoraciones, teniendo en consideración la **escala de Saaty**, fueron introducidas en el programa informático de la herramienta de Ayuda a la Decisión del método AHP, obteniéndose la información que se muestra en la Figura 15 a continuación.

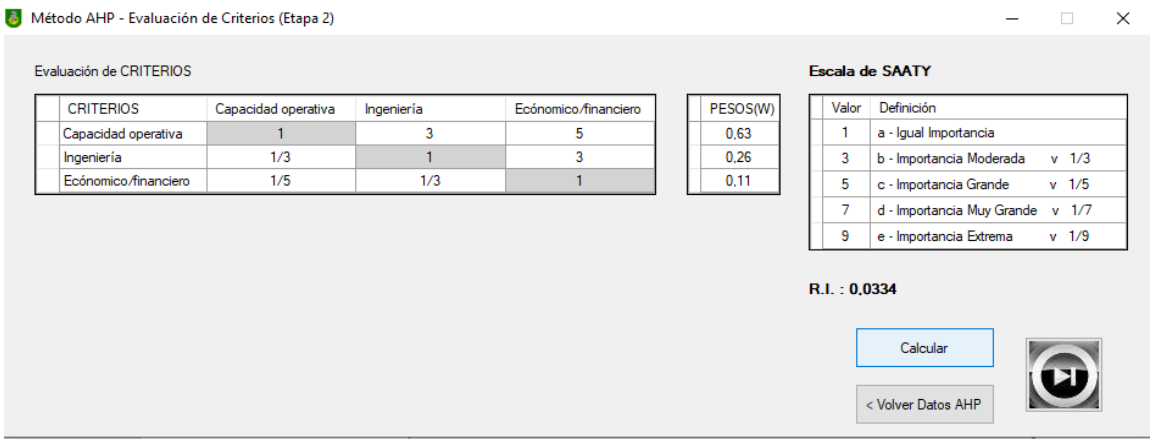


Figura 16 Evaluación de criterios. Fuente: elaboración propia.

En ella, se puede observar que el peso del criterio operativo (0,63) ha quedado muy por encima de los otros dos, siguiendo el criterio de ingeniería (0,26) y, por último, el económico/financiero (0,11).

Calculo la consistencia de los pesos asignados a los criterios

Se puede apreciar en la anterior Figura 15 que la razón de inconsistencia, calculada automáticamente por el programa, es válida ya que su valor es del 3% muy inferior al 10% que se establece como límite.

Calculo de los pesos de los sub criterios y razón de inconsistencia de los mismos.

De igual manera que para los criterios, se introdujeron las valoraciones de los sub criterios proporcionadas por los expertos, con los resultados de los pesos de aquellos que se aprecian en la siguiente Figura 16.

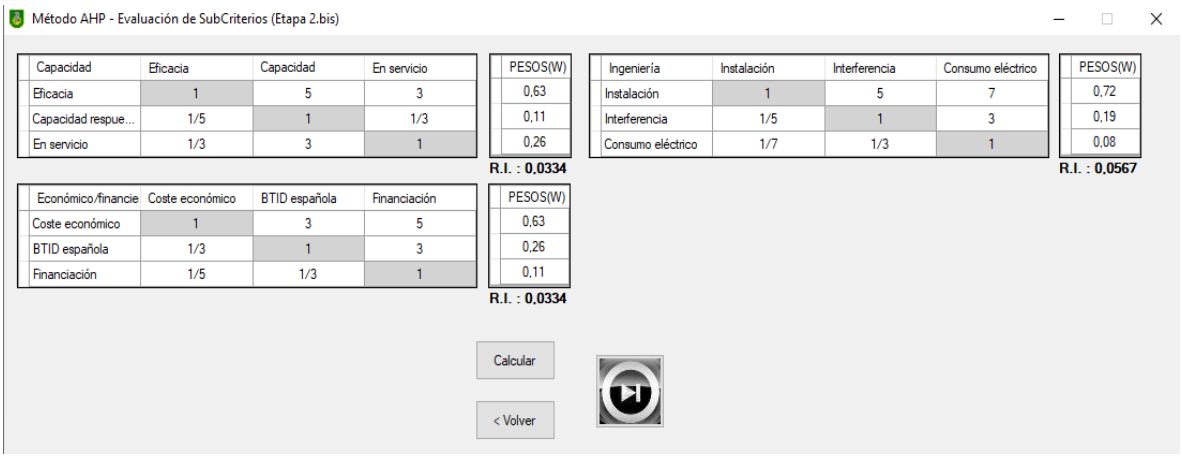


Figura 17 Evaluación de sub criterios. Fuente: elaboración propia

Se puede apreciar también en la Figura 16 que las razones de inconsistencia (R.I.), calculadas automáticamente por el programa, son válidas puesto que en dos criterios, operativo y económico financiero, sus valores son aproximados al 3% (0,0334) y el de ingeniería es del 5,6% (0,0567), de nuevo inferiores al 10%.

4.3 Evaluación de las alternativas.

En esta etapa se han introducido en el programa informático de ayuda a la decisión AHP, las diferentes valoraciones realizadas por expertos, para cada criterio o sub criterio, comparando las alternativas de dos en dos de acuerdo a la escala de Saaty.

En la siguiente Figura 17 se puede comprobar los resultados obtenidos.

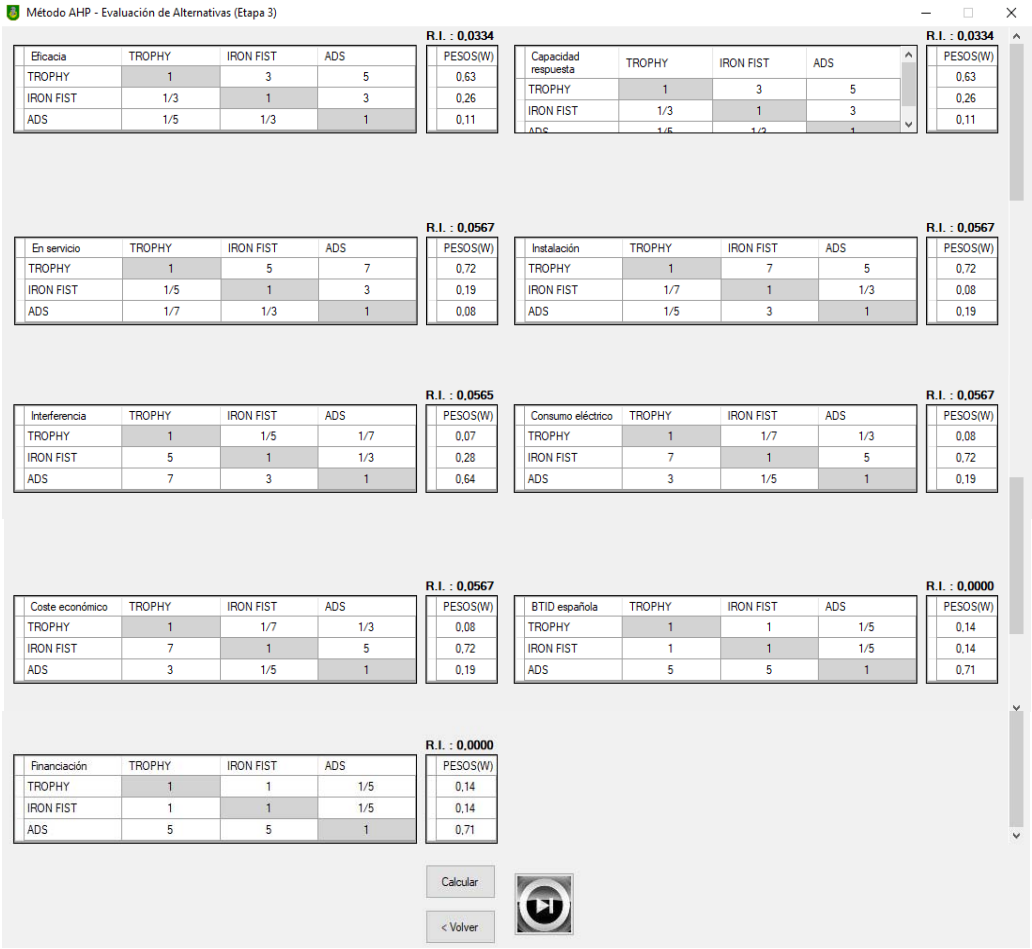


Figura 18 Evaluación de alternativas. Fuente: elaboración propia

Se puede apreciar, asimismo, que las razones de inconsistencia (R.I.) son válidas, ya que ninguna es superior al 10%.

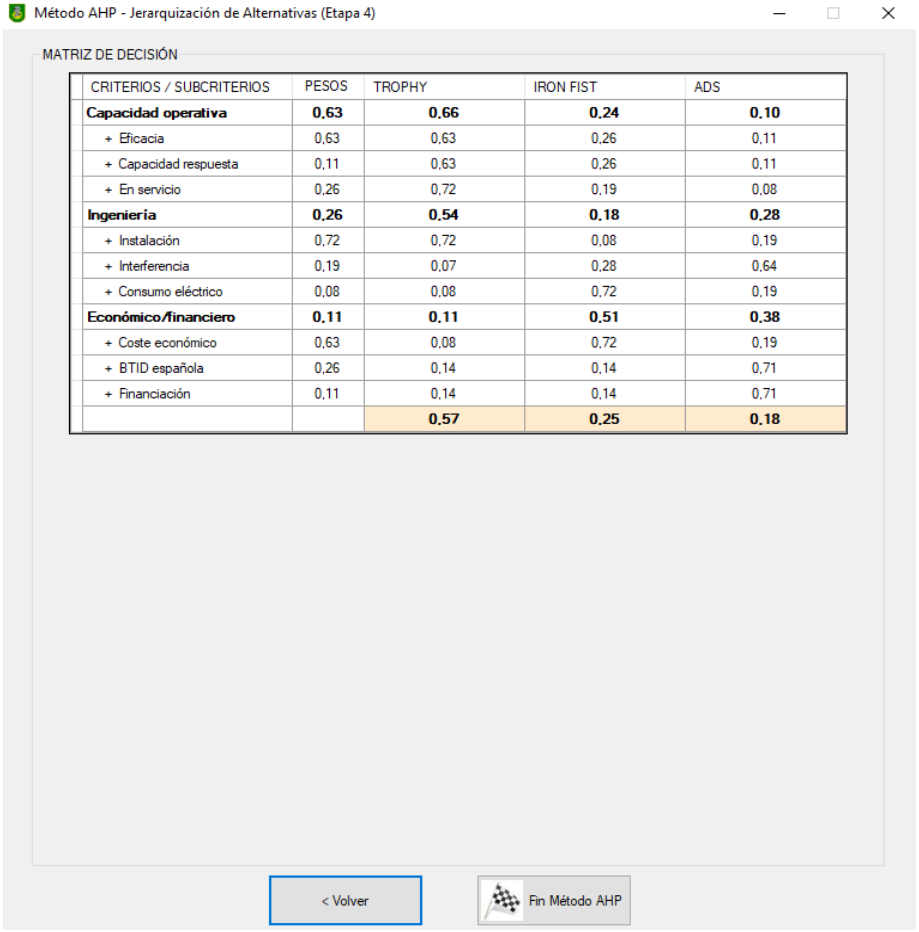
4.4 Jerarquización de las alternativas.

Finalmente, para poder conocer qué alternativa es la seleccionada para ayudar a la toma de decisión, se han volcado los resultados obtenidos en las etapas anteriores en la tabla o matriz de decisión. Es decir, se han trasladado los resultados obtenidos en la etapa 2 (evaluación de los criterios, apartado 4.2) y los resultados obtenidos en la etapa 3 (evaluación de las alternativas, apartado 4.3) a dicha matriz.

Para cada alternativa habrá una media ponderada o resultado final, siendo la que mayor valoración tenga, lógicamente, la seleccionada.

En la siguiente Figura 18 se puede ver la matriz de decisión que enfrenta criterios y sub criterios en sus filas con las diferentes alternativas en las columnas, indicando numéricamente la media ponderada para cada alternativa.

El valor final obtenido para cada alternativa se muestra en la Figura 18 en la fila inferior, con un formato de celda sombreado en amarillo. Las ponderaciones finales para cada alternativa son 0,57, 0,25 y 0,18 para TROPHY, IRON FIST y ADS, respectivamente.



CRITERIOS / SUBCRITERIOS	PESOS	TROPHY	IRON FIST	ADS
Capacidad operativa	**0,63**	**0,66**	**0,24**	**0,10**
+ Eficacia	0,63	0,63	0,26	0,11
+ Capacidad respuesta	0,11	0,63	0,26	0,11
+ En servicio	0,26	0,72	0,19	0,08
Ingeniería	**0,26**	**0,54**	**0,18**	**0,28**
+ Instalación	0,72	0,72	0,08	0,19
+ Interferencia	0,19	0,07	0,28	0,64
+ Consumo eléctrico	0,08	0,08	0,72	0,19
Económico/financiero	**0,11**	**0,11**	**0,51**	**0,38**
+ Coste económico	0,63	0,08	0,72	0,19
+ BTID española	0,26	0,14	0,14	0,71
+ Financiación	0,11	0,14	0,14	0,71
		0,57	**0,25**	**0,18**

Figura 19 Jerarquización de alternativas. Fuente: elaboración propia

Asimismo, en la matriz de decisión se podrá observar en detalle las bondades, fortalezas y debilidades de cada alternativa según el criterio o sub criterio de valoración.

4.5 Discusión y análisis de resultados

Del resultado de la matriz de decisión obtenida aplicando la herramienta de decisión multicriterio AHP, se puede observar la jerarquización de las alternativas contempladas para conocer cuál sería el mejor sistema de protección activa (APS) a instalar en una compañía de carros de combate LEOPARDO 2E.

Como conclusiones basadas en este resultado destacamos:

- La alternativa seleccionada es la del sistema TROPHY de la empresa israelí RAFAEL (mayor ponderación final obtenida). Este sistema ha quedado por delante del IRON FIST y del ADS, éste en último lugar.
- El criterio operativo ha primado de manera importante sobre el de ingeniería y el económico y financiero, en este orden.
- El sistema TROPHY presenta una fortaleza muy superior (0,54) a las otras alternativas basada tanto en su capacidad operativa, debido a su eficacia y que es un sistema en servicio y probado con eficacia en combate y por sus características técnica o de ingeniería.

- La debilidad del sistema TROPHY se encuentra en su criterio económico financiero, ya que se une a que es una empresa no europea el hecho de que es económicamente el más caro.
- Respecto al sistema IRON FIST, su fortaleza se encuentra en el criterio económico, en cuanto es el sistema más económico en comparación son los otros dos, si bien el fabricante no es europeo, a semejanza del TROPHY.
- La mayor debilidad del IRON FIST está enfocada en la problemática de instalaciones de los equipos de los cuales está dotado en el criterio de ingeniería.
- La fortaleza del sistema ADS se encuentra en el criterio económico ya que, al ser una empresa europea, este material podría ser adquirido y financiado más fácilmente que los otros. En cuanto al criterio de ingeniería es el sistema que menos interferencias provoca en los otros equipos y sensores dotados en el carro.
- La debilidad del sistema ADS se centra fundamentalmente en que es un sistema que aún no está en servicio en carros de combate y vehículos mecanizados y sus capacidades operativas son inferiores al de las otras alternativas.

Por todo ello, se considera que el mejor sistema de protección activa para instalarse en una compañía de carros de combate LEOPARDO 2E es el TROPHY de la empresa israelí RAFAEL. Su fortaleza en los criterios operativos ha primado sobre sus debilidades, en los cuales las otras alternativas les superaba.

5 CONCLUSIONES

Al inicio de este trabajo se señalaba que el objeto del mismo era conocer cuál sería el mejor sistema de protección activa para implementar en una compañía española de carros de combate LEOPARDO 2E. Ello estaba enmarcado en la necesidad sentida por el Ejército de Tierra de aumentar su protección con una tecnología que lo permite sin tener que recurrir al aumento de su blindaje con las consecuencias señaladas en el trabajo.

Mediante el uso del Proceso Jerarquizado Analítico se ha llevado a cabo una comparación de los tres APS más avanzados de la industria de defensa de nuestro entorno, de acuerdo una serie de criterios y sub criterios por una serie de expertos en esas materias, que ha dado como resultado la elección de una de las alternativas.

No obstante, para llegar a que el resultado obtenido sea lo más fiable posible, a través de dicho proceso, se considera de vital importancia la selección de los siguientes aspectos:

- En primer lugar, contar con expertos en la materia relativa los diferentes criterios y sub criterios.
- En segundo lugar, identificar cuáles de todos los criterios y sub criterios que podrían considerarse son relevantes para poder utilizarse en un proceso que sea manejable y claro.
- Por último, tener una información veraz y actualizada de las alternativas seleccionadas.

Otra conclusión de importancia es que todos los expertos han considerado el criterio operativo y entre ellos el sub criterio que se encuentre ya en servicio o haya sido probado en combate como el de mayor peso.

Cada una de las alternativas, como se ha podido comprobar tienen sus fortalezas y debilidades.

En el caso que la alternativa seleccionada tras la aplicación del AHP provocase la obtención del sistema TROPHY de la empresa RAFAEL, debería de venir acompañado de las siguientes acciones en todos los criterios. Algunos de ellos para cada uno de éstos sería:

- Técnicos o de ingeniería en el vehículo para poder adaptar los diferentes elementos del sistema y, fundamentalmente, de generación de energía, ya que éste es el que requiere mayor consumo.
- Operativos. La modificación en las técnicas, tácticas y procedimientos de las unidades acorazadas o mecanizadas para combatir con estos sistemas. No se considera que fuese necesario cambios en la organización de la unidad.
- Económicos o financieros. Tras la creación del EUROTROPHY, con el hecho que tanto GENERAL DYNAMICS EUROPEAN LAND SYSTEMS fabricante del carro como KRAUS MAFFEI, autoridad de diseño, formen parte de ello podría buscarse una mejor oferta económica. Además, el hecho que los LEOPARD 2 alemanes lo tengan instalado podría rebajar los costes de ingeniería y diseño al partir de gran parte de trabajo ya realizado.

6 BIBLIOGRAFÍA

Antal, J., 2020. Surviving the City Fight. 21st Century Armour en the Urban Canyon. *European and Security & Defence,* Issue 1, pp. 60-63.

Bernard Kempinski y Christopher Murphy, November 2012,. *"Technical Challenges of the U.S. Army's Ground Combat Vehicle*

Program",Congressional Budget Office (CBO) Working Paper 2012-15, s.l.: s.n.

CUD, s.f. *Manual Usuario_PROGRAMA AHP_CASO PRÁCTICO 8X8.* s.l.:s.n.

Elvira, P. F. G., s.f. *Aplicación de los métodos multicriterio para la elección de un vehículo de combate de Infanteria,* s.l.: s.n.

EMAD, 2023. *OPERACIONES EN CURSO.* [En línea]
Available at: https://emad.defensa.gob.es/operaciones/operaciones-en-el-exterior/31-eFP_Letonia/
[Último acceso: 2023].

Feickert., A., August 30, 2016. *Army and Marine Corps Active Protection System (APS) Efforts. Congressional Research Service. ,* s.l.: s.n.

López, T. C. C. R., 2021. *Capítulo 8. Métodos cuantitativos ayuda a la decisión,* Zaragoza: s.n.

Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2022. *TENDENCIAS. 2020-2021. VOLUMEN II. Según especialidades. MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA,* s.l.: s.n.

MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA, ENERO-2023. *OBSERVACIONES DE LA GUERRA DE UCRANIA 24FEB22-31DIC22, PÁGINAS 36-37,* s.l.: s.n.

Navarro García, J. M., 2023. *DEFENSA.COM.* [En línea]
Available at: https://www.defensa.com/espana/carros-combate-leopardo-pondrian-dia-sistema-proteccion-activa
[Último acceso: 29 MAYO 2023].

RAFAEL, 2021. *Technical Description APS TROPHY,* s.l.: s.n.

RAFAEL, 2021. *TROPHY-MV. INTERFACE CONTROL DOCUMENT (ICD),* s.l.: s.n.

RHEINMETALL, 2021. *ADS Gen3 - System Description ,* s.l.: s.n.

Romero, 1996. *Análisis de las decisiones multicriterio, 1ª edición,* Madrid: Isdefe.

SYSTEMS, E., 2021. *Iron Fist Light Kinetic (IFLK) APS for the Spanish´s Army. Leopardo 2E MBT,* s.l.: s.n.

Tcol. Ruiz López, C., 2022. Capítulo 8, AHP. En: *Métodos cuantitativos ayuda a la decisión de los apuntes del módulo de Gestión Pública del Máster Universitario en Dirección y Gestión de Adquisiciones de Sistemas para la Defensa.* Zaragoza: CUD, p. 16.

ANEXOS

A. **APS TROPHY..**
B. **APS IRON FIST.**
C. **ADS STRIKESHIELD.**
D. **CUADRO COMPARATIVO**

ANEXO A. SISTEMA TROPHY

El sistema TROPHY ha sido desarrollado por la empresa israelí RAFAEL ADVANCED DEFENSE SYSTEMS con el apoyo de la Dirección de Investigación y Desarrollo de Defensa de Israel (DRDD), con el objetivo de proporcionar a los vehículos blindados un nuevo nivel de protección contra las amenazas actuales anticarro.

Éste, comenzó su desarrollo durante la década de 1990. Las Fuerzas de Defensa de Israel (IDF) decidieron implementarlo a gran escala en sus unidades en 2007, cuando tuvo lugar su primer contrato. El sistema TROPHY comenzó a instalarse en el carro de combate MERKAVA MK IV en 2009, completando su primer batallón de carros con este sistema en 2010. Se declaró probado en combate tras la primera neutralización de una amenaza real en marzo de 2011. Durante esa campaña, en una patrulla rutinaria junto a la frontera de Gaza, un RPG disparado contra un MERKAVA fue neutralizado por el sistema TROPHY.

Desde entonces, este sistema ha sido probado en combate en varias ocasiones y se ha instalado en gran parte de las plataformas de las IDF (MERKAVA MK III y el APC NAMER). Recientemente, también se ha aprobado su instalación en el APC 8x8 EITAN[9] desbancando al IRON FIST que hasta ese momento parecía que iba a ser el elegido para ser instalado en dicho vehículo.

Posteriormente, en 2014, dos brigadas de carros de combates equipadas con TROPHY participaron en la operación "Borde protector". En ésta, dicho carros equipados con este sistema neutralizaron múltiples amenazas de fuego real, además de identificar y alertar a la tripulación de otras amenazas de fuego cercano.

Durante 2016-2017, el sistema fue probado tanto por el Ejército de los Estados Unidos como por el Cuerpo de Marines en los carros en M1A2 y M1A1 ABRAMS respectivamente, tras la ejecución de dichas pruebas se decidió en octubre de 2017 decidieron equipar 4 brigadas con dichos sistemas10. El pasado año se procedió a realizar una compra adicional[11] de dicho sistema para dotar a sus carros M1A2 SEPv2 y M1A2 SEPv3 por un valor de 280 M de dólares

El ejército alemán y el británico también han elegido al TROPHY para dotar a sus carros LEOPAR[12] y CHALLENGER[13] respectivamente. Este último dentro del marco de modernización de este carro de combate que recibirá el nombre de CHALLENGER III.

El funcionamiento de este sistema está basado en un radar de 360º, que detecta la amenaza, la analiza y la clasifica, para, finalmente, lanzar las contramedidas a la distancia adecuada para neutralizarla. La amenaza es destruida por una contramedida que al explosionar a la distancia calculada se convierte en varias bolas a alta velocidad que impactan con la amenaza destruyéndola.

Tras el disparo de la contramedida, el arma se recarga automáticamente en menos de un segundo y queda preparada para hacer frente a una nueva amenaza.

El sistema no responde a munición flecha (APDFS) (por carecer de cabeza explosiva), ni a calibres inferiores a 40 mm, (por entender que el blindaje pasivo del vehículo es suficiente).

El sistema está formado por los siguientes subsistemas y equipos:

[9] Trophy, el único sistema de protección activa en servicio en un 8x8 - Noticias Defensa España
[10] Entregados los últimos APS Trophy para los carros de combate M1 Abrams del Ejército de Estados Unidos-noticia defensa.com - Noticias Defensa defensa.com OTAN y Europa
[11] US Army orders active protection system kits for its Abrams tanks (defence-blog.com)
[12] Germany orders Trophy APS for Bundeswehr Leopard 2s (janes.com)
[13] UK selects Trophy for Challenger 3 (janes.com)

- Caja electrónica principal.
- Dos Lanzadores y sus cajas de control
- Dos cargadores automáticos.
- Cuatro radares IAI Elta Systems´ ELM 2133 WindGuard.
- Cuatro sensores electro ópticos IAI Elta Systems´ ENA5220 OTHELLO.
- Unidad central de los radares.
- Caja de control del sistema.
- Contramedidas.

En la Figura 19 se puede observar los elementos del sistema que se encuentran en la torre de un carro ABRAMS.

Figura 20 Elementos del APS TROPHY sobre la torre del carro ABRAMS. Fuente: RAFAEL

El sistema, tiene un valor añadido de gran capacidad por utilizar sus radares como sensor de identificación y localización del adversario, en concreto de los orígenes de fuego de la amenaza. El sistema, con el medio de transmisión adecuado, es capaz de actualizar en tiempo real la “Enemy Common Operational Picture”, esto es, proporciona una conciencia situacional del enemigo que es compartida con el resto de la unidad, más aún por la posibilidad que se integre con el BMS. Con esta integración se ofrece la posibilidad de destruir la amenaza bien con el arma desde propio vehículo con sus sistemas de armas o bien con la de cualquier otro de la formación, al transmitirle los datos del origen de fuego.

Algunos informes de revistas especializadas en sistemas de armas, han señalado como un inconveniente del sistema, la posibilidad de causar bajas entre personal propio desembarcado; esto fue refutado por la empresa RAFAEL, asegurando que esta posibilidad es marginal. No se especificó la limitación del ángulo de elevación de capacidad del sistema por ser este un dato confidencial, aunque se señaló que “no estaba lejos del 90%”.

En cuanto al precio unitario por vehículo depende de varios factores, la facilidad de integración con la plataforma concreta y del número de unidades a adquirir. Para integrarlo a otros vehículos se estima que habría de incluirse otros costes adicionales derivados de la sustitución de otros componentes como el sistema eléctrico. Si bien la empresa no ha remitido oficialmente el coste de este sistema en el LEOPARDO 2E, extraoficialmente rondaría los 900.000 euros por equipo, a los que habría que añadir los costes de diseño e ingeniería, integración y calificación.

Paralelamente al desarrollo del sistema TROPHY, desde 2006 se desarrolló una revisión de SWaP reducido del sistema TROPHY VPS (Vehicle protección Suite), también conocido como TROPHY MV.

El desarrollo del TROPHY VPS comenzó reduciendo la cantidad de material explosivo, lo que dio lugar a una ojiva de menor tamaño y peso, lo que permitió a su vez el uso de un lanzador y un cargador automático de menor tamaño y peso. El TROPHY VPS o MV se basa en la misma arquitectura, software, algoritmos y mecanismo de seguridad del sistema original. Por tanto, la mayoría de los componentes del sistema son idénticos.

El peso completo de APS MV es aproximadamente de un 40 % menos que el HV y rondaría la tonelada.

El modelo ofertado para el CC LEOPARDO 2E es el APS TROPHY MV. En la figura 20 se puede observar la instalación del APS en un LEOPARD 2A7A1 alemán, lo que puede dar una idea de cómo quedaría en el carro español.

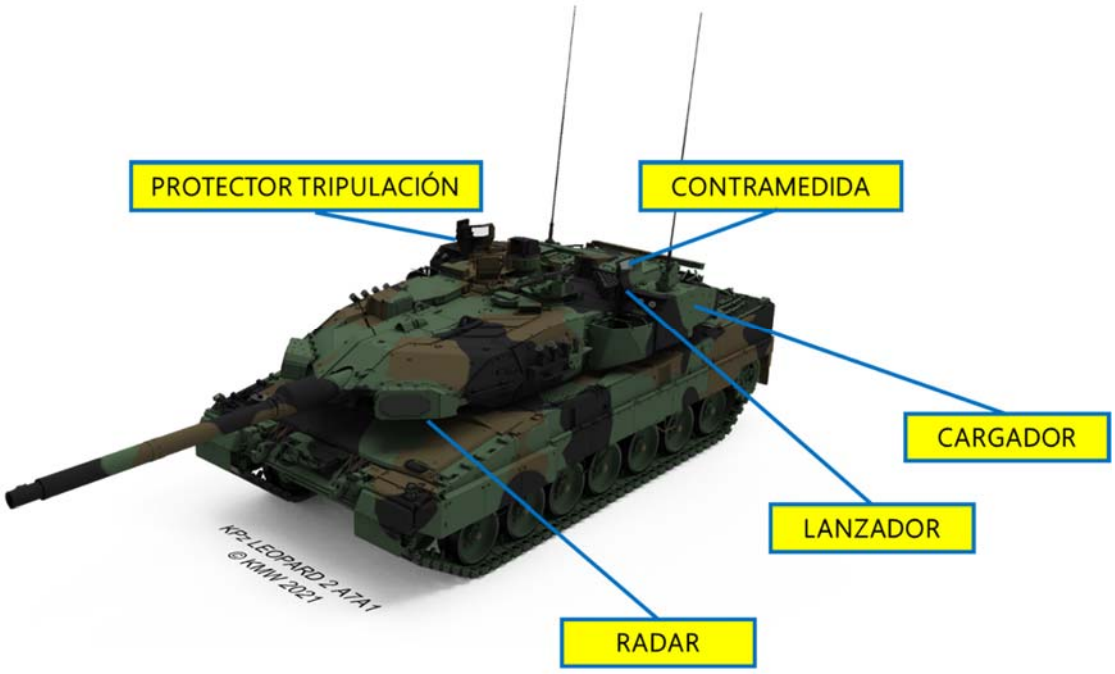


Figura 21 Elementos del APS TROPHY sobre el LEOPARD 2A7A1. Fuente: RAFAEL

El sistema TROPHY MV está formado por los elementos citados con anterioridad, al que se denomina Kit A, y el llamado Kit B que consiste en los elementos de instalación. Al ser un sistema modulable permite, siempre que los vehículos dispongan de la preinstalación, poder intercambiar el TROPHY entre los vehículos en los que sea necesario.

Hay que reseñar que el pasado 28 de marzo de 2022[14] se firmó un acuerdo entre la empresa israelí RAFAEL se ha asociado con la alemana KRAUSS-MAFFEI WEGMANN, con sede en Alemania, y con la norteamericana GENERAL DYNAMICS EUROPEAN LAND SYSTEMS, cuya rama europea tiene su sede en España, para comercializar su APS TROPHY en Europa bajo la marca EUROTROPHY. El hecho de esta unión de empresas para comercializar este sistema sería muy ventajoso a la hora de implementarlo en el LEOPARDO 2E pues involucraría a la autoridad de diseño del carro y su fabricante en España.

[14] https://euro-sd.com/2021/11/articles/exclusive/24559/euro-trophy/

ANEXO B. SISTEMA IRON FIST

El sistema IRON FIST fue desarrollado por la empresa ISRAEL MILITARY INDUSTRIES (IMI), siendo presentado en 2006 como un sistema de protección activa modular para ser integrado tanto en vehículos ligeros como vehículos acorazados. Esta empresa fue absorbida por la también israelí ELBIT SYSTEMS. Este sistema ha sido evolucionado hasta nuestros días, siendo uno de los más importantes sistemas de protección activa con un grado elevado de madurez.

La empresa, tras ser requerido para la elaboración del trabajo, remitió las especificaciones y detalles de su sistema APS IRON FIST LIGHT KINETIC (IFLK). De acuerdo a la empresa, este sistema está destinado a la protección, 360 grados, de carros de combate y otros vehículos blindados contra todo el espectro de amenazas del carro, proyectiles de carro, incluidos los de energía cinética, los misiles anti carro guiados (ATGM), Granadas propulsadas por cohetes (RPG) y la munición para fusiles sin retroceso.

El sistema fue seleccionado por el Ejército holandés para dotar a su IFV CV9035NL[15] y está siendo ofrecido por la empresa BAE SYSTEMS HAGGLUNDS para los ejércitos de la República Eslovaca y la República Checa. Recientemente, el Ejército de Estados Unidos anunció que en octubre de 2022 se había llevado a cabo con éxito una serie de pruebas en un IFV BRADLEY[16], donde se verificó las mejoras del sistema llevadas a cabo tras las primeras pruebas realizadas en 2018. El objetivo del Ejército estadounidense es equipar una brigada entera del Ejército con vehículos Bradley en 2025. Este APS también se ha probado recientemente con éxito en Australia, donde se espera que se integre en los programas Land400 Fase 2 (Boxer CRV) y 3 (IFV de oruga aún por seleccionar).

Otros países están evaluando este sistema, junto con otros, para equipar a sus vehículos blindados.

La detección de amenazas del sistema se basa en un conjunto de sensores ópticos y de radar combinados, que proporcionan una detección rápida, precisa y fiable de las amenazas. La tecnología multisensor evita falsa alarmas al filtrar las señales que recibe. Una vez detectada y seguida la amenaza entrante, se evita que impacte en la plataforma protegida mediante el disparo y detonación de un interceptor de explosión de gran potencia a una distancia segura de aquella y muy cerca de la amenaza entrante.

La detonación de la carga explosiva en la proximidad del proyectil que se dirige a la plataforma, crea una onda de choque que deflagra o rompe aquel evitando el impacto sobre la plataforma bien al impedir que se inicie la ojiva en el caso de los ATGM con mínimos residuos en los alrededores de aquella o bien que los proyectiles, principalmente de carros de combate, sean desviados en un ángulo que reduce considerablemente su letalidad, minimizando la posibilidad de penetración en la plataforma y reduciendo los daños exteriores provocados por los fragmentos por la explosión.

El uso de cámaras infrarrojas para detectar el lanzamiento de una amenaza permite operar en modo silencioso evitando que la plataforma sea detectada por la emisión de ondas que provoca el radar. Cuando se detecta un lanzamiento, el radar se activa en milisegundos para participar en el seguimiento, clasificación y supresión de la amenaza.

El subsistema hard-kill incluye dos lanzadores con dos interceptores cada uno, situados a ambos lados del vehículo para una cobertura total de 360 grados. Los lanzadores se accionan

[15] https://www.army-technology.com/news/elbit-systems-netherlands-cv90/

[16] https://defbrief.com/2023/01/06/us-army-completes-iron-first-active-protection-system-trial-on-bradley-ifv/

mediante potentes motores eléctricos controlados por el mando a distancia. Además, los lanzadores llevan incorporada la posibilidad de integrar un inhibidor láser soft-kill para protegerse de la variedad de misiles ATGM de segunda generación.

En la Figura 21, se puede observar el sistema propuesto por ELBIT para instalar sobre el carro LEOPARDO 2E.

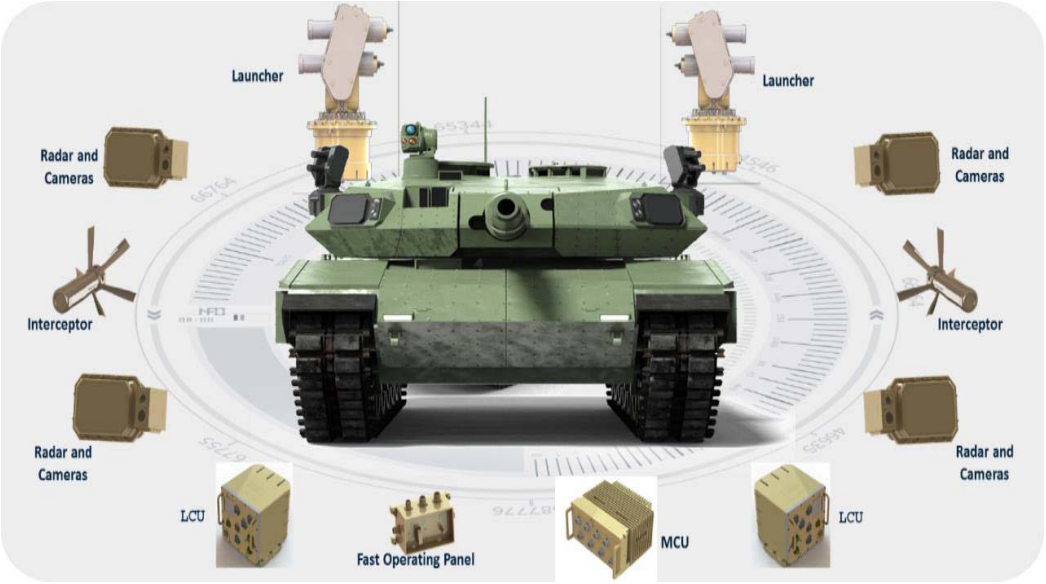


Figura 22 Sistema propuesto de ELBIT IRON FIST sobre Leopardo 2E. Fuente ELBIT

Los componentes principales del sistema son los siguientes:

- Dos (2) lanzadores con dos cargas de interceptación cada uno.
- Cuatro (4) radares, desarrollados por RADA Electronic Industries.
- Cuatro (4) sensores electro ópticos.
- Unidad Control de los lanzadores.
- Unidad Control Principal.
- Panel del Control del sistema.
- La contramedida es un proyectil similar a una granada de mortero con una ojiva explosiva y aletas estabilizadoras. Se puede ver un dibujo de la contramedida en la figura 22.

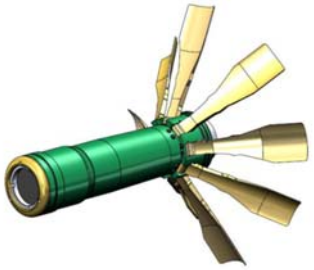


Figura 23 Contramedida o carga explosiva del sistema IRON FIST. Fuente ELBIT

Algunas características del sistema descritas por el fabricante son las siguientes:

- Dos interceptores listos para su uso en cada lanzador, lo que permite un segundo lanzamiento inmediato en caso necesario.
- Las cámaras RADAR e IR con algoritmos de fusión de datos permiten al sistema detectar amenazas en campos de batalla saturados y reducen las falsas alarmas.
- Un solo miembro de la tripulación puede realizar la recarga fácil y rápidamente, sin herramientas ni equipos especiales. El tiempo de recarga es de 30 segundos para uno, 60 segundos para los dos.
- Reducción de los daños colaterales tanto para las tropas cercanas como para los no combatientes. Mínima penetración residual y daño al vehículo.
- Detección de posición de lanzamiento hostil.
- Los elementos sensores proporcionan una cobertura total del vehículo.

El proceso de operación de interceptación es el siguiente:

(1). Una vez activado, el sistema funciona automáticamente, bajo el control de la Unidad Control Principal.

(2). El sistema escanea continuamente el entorno en busca de posibles amenazas. Normalmente, la cámara IR es la primera en detectar una amenaza por la firma de lanzamiento.

(3). Si se predice el impacto, el lanzador recibe las órdenes de apuntamiento inicial para girar a la posición de preparado.

(4). A medida que se analiza la trayectoria de la amenaza, se calcula un punto de interceptación.

(5). El lanzador recibe las órdenes finales de apuntamiento y la espoleta interceptora seleccionada se carga además de quedar programada con un tiempo de detonación.

(6). En el instante justo se envía la señal de fuego a la contramedida que lanza el interceptor.

(7). En el momento calculado con precisión, el interceptor detona creando una onda explosiva para destruir la amenaza.

Las especificaciones de rendimiento del sistema del sistema IRON FIST más importantes proporcionadas por la empresa ELBIT son:

- Probabilidad de interceptación: respecto a amenazas guiadas y no guiadas con velocidades de hasta 800 m/s tiene una probabilidad de ser interceptada del 90%. Respecto a los proyectiles de carro con velocidades entre 800 y 1.800 m/s la probabilidad es del 85%.
- Alcance de interceptación: 10-15 m.
- Peso del sistema: 378 kg.

En cuanto al precio unitario del sistema requerido a la empresa, ésta no ha remitido oficialmente el coste de este sistema en el LEOPARDO 2E, extraoficialmente rondaría los 900.000 euros, si bien en un mensaje de correo concretó que rondaría los 750.000 € por equipo y vehículo.

ANEXO C. SISTEMA ADS

El desarrollo de los sistemas de protección activa ADS (Active Defence System) comenzaron en 1996 con el nombre de Sistema Modular Avanzado de Protección y Defensa Activa (AMAP-ADS), bajo el paraguas de la empresa RHEINMETALL. Actualmente sus sistemas de protección activa y pasiva se diseñan, desarrollan y fabrican dentro de la recién fundada RHEINMETALL PROTECTION SYSTEMS GMBH.

La tercera y última versión, ADS Gen 3, pasó a llamarse STRIKESHIELD en 2020. La producción en serie comenzó en septiembre de ese mismo año, una vez finalizado el desarrollo y todas las pruebas del sistema.

En mayo de 2021, RHEINMETALL anunciaba el primer contrato de su sistema STRIKESHIELD17, para equipar los 218 IFV Lynx comprados por Hungría18. Asimismo, se encuentra instalado en el vehículo APC FUCHS del ejército alemán19 y en pruebas en otros ejércitos como el norteamericano20.

El ADS es un sistema modular y ampliable con capacidad para extender sus capacidades operativas mediante la integración de sensores adicionales, sistemas *Soft Kill* y lanzadores *Hard Kill*. Uno de los sistemas con los que puede combinarse es el sistema de ocultación ROSY, también de RHEINMETALL.

El sistema consta de los siguientes elementos:

- Panel de control del APS.
- Cajas de contramedidas.
- Sensores pre alertadores.
- Sensores electro-ópticos.
- Cableados e interfaces de datos
- Caja de distribución de corriente.

A éstos elementos se les podrá añadir para aumentar su capacidad un alertador láser y el sistema de ocultamiento ROSY.

El peso total del sistema oscila entre 600 y 750 kg.

El ADS funciona de la siguiente manera: una vez que la amenaza es detectada por el radar (denominado sensor de prealerta), el sistema avisa al sensor electro óptico, que confirma, clasifica y activa la contramedida adecuada. La contramedida intercepta el proyectil aproximadamente a 5 milisegundos antes del impacto, esto es, a menos de 2 metros de la plataforma. Dicha contramedida es un explosivo que intercepta la amenaza detonando con precisión cerca de la carga hueca de la ojiva, evitando la formación de su chorro explosivo. En la Figura 23 se puede ver una secuencia de imágenes del sistema STRIKESHIELD interceptando un proyectil cinético.

[17] Hungary orders StrikeShield APS for Lynx IFV infantry fighting vehicles (army-technology.com)
[18] StrikeShield APS serial production for Hungarian Lynx IFVs to begin in 2022 (janes.com)
[19] Rheinmetall's ADS active protection system mounted on a German Army FUCHS armoured personnel carrier. The US Army is currently evaluating the ADS for the STRYKER infantry fighting vehicle. - European Security & Defence (euro-sd.com)
[20] El Sistema de Protección Activa StrikeShield de Rheinmetall seleccionado para ser probado por el US Army-noticia defensa.com - Noticias Defensa defensa.com OTAN y Europa

Figura 24 Secuencia de interceptación de una amenaza sobre carro de combate. Fuentes RHEINMETALL

La tecnología asociada a la cabeza de guerra de la contramedida se mantiene en secreto, pero se considera, dada su configuración, que se trata de una carga hueca lineal con un liner fabricado de material sintetizado que se convierte en una “barra de arena” al activarse la carga, esto explicaría los reducidos efectos colaterales.

Algunas características del sistema especificadas por la empresa que le diferencian de otros son las siguientes:

- Es un sistema híbrido ya que combina los elementos activos con los elementos pasivos de blindaje, donde la protección es asegurada, diseñándose en función de las necesidades de la plataforma.
- Es el único sistema conocido que, según RHEINMETALL, "puede interceptar cualquier amenaza que se lance a 10-15 metros. Esto se consigue mediante un sistema de microsegundos que funciona con un tiempo de reacción (SRT) ultracorto".
- El ADS ofrece una firma electrónica muy limitada gracias a un radar de baja potencia que, según las presentaciones publicadas por el fabricante tiene una exposición global del sistema de unos 6 km, lo que reduce la posibilidad de detección y localización de la plataforma además de ser interferida por el uso del adversario de EW.
- El ADS reduce los daños colaterales destruyendo el proyectil de la amenaza excepto los fragmentos causados por la explosión o desviación del proyectil entrante. El sistema destruye artefactos explosivos improvisados (IED), RPG, ATGM o proyectiles KE.
- Se recomienda enlazar el sistema de alerta láser (LWS) con el sistema de ocultamiento *soft kill* ROSY autónomo controlado por ADS.

Los datos recopilados pueden compartirse con el Sistema de Gestión de Combate (BMS) del vehículo e intercambiarse entre varias plataformas para ampliar las capacidades de reconocimiento.

La estación de armas remota puede integrarse en el sistema para poder responder de manera rápida al punto de origen de fuego de la amenaza.

La empresa no ha remitido información relativa al coste del sistema.

ANEXO D. CUADRO COMPARATIVO APS

		TROPHY	IRON FIST	ADS
Fabricante		RAFAEL	ELBIT SYSTEMS	RHEINMETALL
País		ISRAEL	ISRAEL	ALEMANIA
Modelo		MV	IFLK	ADS Gen3
Tipo[21]		Hard Kill	Hard Kill	Hard Kill
Protección	**RPG**	Sí (> 90 %)	Sí (> 90 %)	Sí (> 95 %)
	ATGM	Sí (> 90 %)	Sí (> 90 %)	Sí (> 95 %)
	APFSDS	Sí (> 40 %)	Sí[22] (> 85 %)	No
Detección	**Sistema**	Radar/EOS	Radar/EOS	Radar/EOS
	Probabilidad	Información reservada	Información reservada	99.9%
Tiempo de respuesta		0,3 – 0,35 s	0,3 – 0,35 s	< 5 ms
Interceptación	**Sistema**	RADAR/EO	RADAR/EO	RADAR/EO
	Distancia	Información reservada	10 – 30 m.	< 2 m
	Tipo contramedida	EFP (Proyectil formación explosiva)	Proyectil con aletas	Tipo caja
	Modo interceptación	Neutralización por bolas de la fragmentación	Neutralización mediante onda explosiva	Neutralización mediante onda explosiva
	Cobertura	360º AZ, 180º EL	360º AZ , 15º to > 50 º EL	360º AZ, 180º EL
Recarga automática	**Durante misión**	Sí	No	No
	Tiempo	Información reservada	30 s. para 1 lanzador	Manual. Menos de 5 minutos
Intercepta amenazas múltiples		Sí (dos por lado)	Sí (dos por lado)	Sí (dos por lado)
Disparos preparados		Dos por lanzador (4)	Dos por lanzador (4)	Dos o tres
Daños[23]	**Vehículo**	Sí	Sí	Sí
	Colaterales	Sí	Sí (menor)	Sí (menor)
Peso		1000 kg	670 kg	600 – 750 kg
Consumo eléctrico		710 – 5480 W	< 1624 W	< 1000 W

[21] Posibilidad en todos los sistemas de integrar APS Soft Kill.
[22] A una distancia de disparo de más de 1000 m.
[23] A pesar que en la documentación proporcionada se habla de daños colaterales y del vehículo reducido, éstos sí que se producen. Dependerá del tipo de la amenaza el mayor o menor dañó. Por el tipo de interceptación se considera que el TROPHY producirá más metralla y, por tanto, los daños serán mayores que en los otros sistemas. El ADS tendrá menos daño colateral al explosionar cerca del vehículo.

Integración con BMS		Sí	Sí	Sí
Posibilidad de preinstalación		Sí	Sí	Sí
Coste aproximado por unidad		No proporcionado oficialmente Aprox. 900.000 €	No proporcionado oficialmente Aprox. 750.000 €	No proporcionado oficialmente Aprox. 700.000 €
En servicio	**APC/IFV**	Sí	Sí	Sí
	MBT	Sí	No	No
Probado en combate		Sí	No	No

Tabla 2 Comparativa resumen de APS

Los datos han sido tomados fundamentalmente de la documentación entregada por las empresas y supletoriamente por fuentes abiertas e informes.